

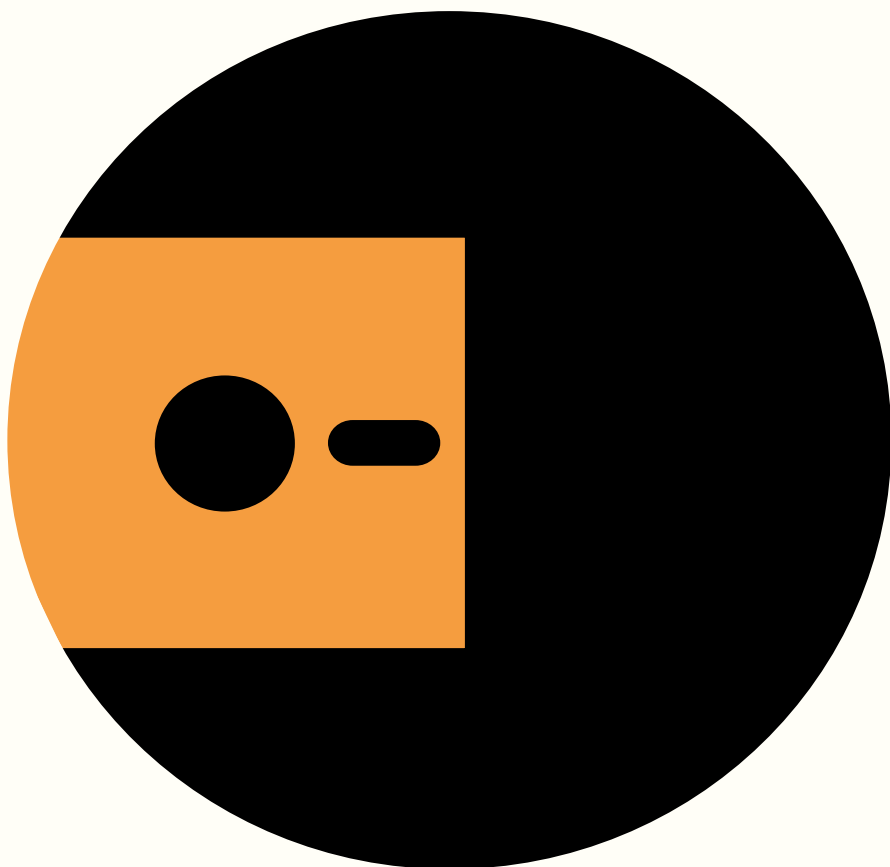
Storia dell' informatica italiana

3

A cura di
Maristella Agosti
e
Virginio Cantoni

Prima parte

Ricerca, formazione
e impatto sociale



Storia dell' informatica italiana

Prima parte

Ricerca, formazione e impatto sociale

A cura di
Maristella Agosti
e
Virginio Cantoni

Storia dell'informatica italiana

Parte prima

Ricerca, formazione e impatto sociale

Opera promossa dal Consiglio Nazionale delle Ricerche
Dipartimento ingegneria, ICT e tecnologie per l'energia e i trasporti
e Istituto di informatica e telematica

Volumi 1, 2 e 3

ISBN (ed. stampa) 978 88 8080 679 0

ISBN (ed. digitale) 978 88 8080 680 6

DOI <https://doi.org/10.36173/SII-parteprema>



Il presente lavoro è protetto dalla licenza CC BY-NC-SA 4.0

La versione digitale è pubblicata in Open Access su www.edizioni.cnr.it

Coordinamento editoriale dell'opera Sara Di Marcello

Volume 1

Editor e redattrice Susanna Tosi

Editor capitolo 14 Nicola Fantini

Volume 2

Editor Nicola Fantini

Editor capitoli 16, 18 e 23 Susanna Tosi

Redattrice Susanna Tosi

Volume 3

Editor e redattrice Susanna Tosi

Editor capitoli 29 e 31 Nicola Fantini

Revisione redazionale Angelica Zonta

Progetto grafico e impaginazione Lucia Caraffa

© CNR Edizioni, 2025

Piazzale Aldo Moro, 7 - 00185 Roma

www.edizioni.cnr.it

bookshop@cnr.it

In quest'opera di ricostruzione storica sono state utilizzate
immagini in possesso degli autori. L'editore rimane a disposizione
degli eventuali aventi diritto ai quali non è stato possibile
risalire in fase di scrittura e pubblicazione.

Stampato da Arti Grafiche La Moderna - Guidonia Montecelio (RM)
su carta di pura cellulosa Munken Print White 15 gr. 90
copertina Munken Linx White 15 gr. 300

H
J
NS

FLP BUFFER REGISTERS

FLP OPERATION STAGE

E

FLOATING POINT

FIXED POINT

POWER ON-POWER CHECK

CPU SPY

STORAGE SCHMOO

MSEC 0-20

MSEC 0-20

POWER ON-POWER CHECK

MAINT CONSOLE TEST

STORAGE ADDRESS ALTERATION

REVERSE CDR PTTs

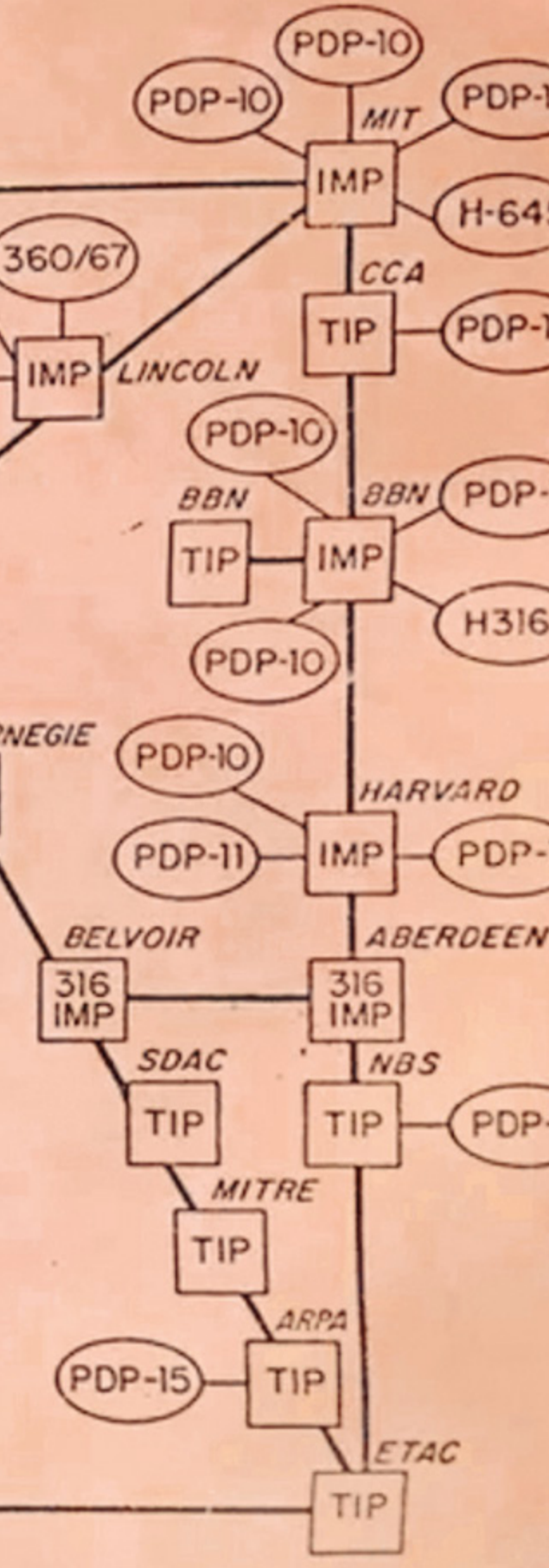
RANGE

FREQ

REPEAT

MCW ACTIVE

MCW TO PSCE

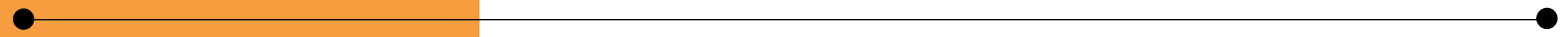


**Linee
di ricerca**

27

Giorgio Levi

Linguaggi di
programmazione



Contenuti

Il capitolo si occupa dei vari paradigmi di programmazione, con un interesse particolare per la programmazione logica e funzionale, delle quali viene ricostruita la storia, anche per colmare una lacuna dovuta al fatto che la descrizione della ricerca italiana, negli anni Ottanta e Novanta dello scorso secolo, è centrata quasi esclusivamente sulla programmazione logica.

Linguaggi di programmazione ad alto livello

I linguaggi di programmazione “ad alto livello” nascono nel 1960 con il linguaggio imperativo ALGOL 60, e il linguaggio funzionale LISP. Il FORTRAN (sviluppato da IBM negli anni Cinquanta) e il COBOL (progettato da un gruppo di lavoro di agenzie USA nel 1959), i linguaggi più utilizzati per il calcolo scientifico e gestionale, mancando di tutti gli aspetti dinamici tipici dei linguaggi ad alto livello, non possono essere considerati tali. Il primo linguaggio orientato a oggetti, SIMULA 67, nasce nel 1967, seguito, nel 1972, dal primo linguaggio logico, PROLOG. Il 1972 è caratterizzato dalla nascita del linguaggio imperativo più utilizzato per lungo tempo, soprattutto per la programmazione di sistemi: C. ML, il più moderno e sofisticato linguaggio funzionale, nasce alla fine degli anni Settanta, mentre la seconda metà degli anni Novanta è caratterizzata dall'utilizzo diffuso di due linguaggi orientati a oggetti, C++ e JAVA.

Storia della programmazione logica

Il primo evento è la pubblicazione del *Metodo di Risoluzione* (Robinson 1965) di Alan Robinson, che apre una nuova strada nell'area della Dimostrazione Automatica di Teoremi. Il metodo richiede che l'insieme di formule ben formate del prim'ordine vengano trasformate in clausole (disgiunzioni di atomi o atomi negati, ottenuti con la “skolemizzazione” che elimina i quantificatori esistenziali). L'insieme di clausole è equivalente all'insieme di formule iniziali solo rispetto alla insoddisfacibilità. Le clausole si possono, quindi, utilizzare in dimostrazioni per assurdo: la formula “W” da dimostrare si nega e viene aggiunta agli assiomi, trasformando il tutto in clausole. Si tenta poi di derivare la contraddizione (clausola vuota), ricorrendo a una sola regola di inferenza (la “Risoluzione”). Il risultato è: l'insieme di clausole è insoddisfacibile (e W è un teorema), se e solo se deriviamo la clausola vuota. La Risoluzione utilizza l'algoritmo di unificazione per ridurre drasticamente il numero di clausole generate (risolventi). Resta comunque l'esplosione combinatoria, che porta alla ricerca di strategie in grado di ridurre il numero dei risolventi senza perdere la completezza. Molto importante per la programmazione logica è la risoluzione lineare, una specie di riscrittura nondeterministica, purtroppo incompleta.

La programmazione logica ha avuto le sue radici nei risultati delle ricerche sull'Intelligenza Artificiale. Il saggio di Luigia Carlucci Aiello, “Intelligenza artificiale e rap-

presentazione della conoscenza”, fornisce un inquadramento molto ampio e accurato di questi risultati.

Un momento importante è la *Prima Conferenza Internazionale di Intelligenza Artificiale (IJCAI)* del 1969 in cui si scontrano le due scuole più prestigiose di intelligenza artificiale: il gruppo di Marvin Minski al Massachusetts Institute of Technology (MIT) di Boston e quello di John McCarthy a Stanford. Stanford segue la strada dell'uso della logica nella rappresentazione della conoscenza e nella risoluzione di problemi attraverso la dimostrazione di teoremi. All'IJCAI del 1969 viene presentato il primo risultato pratico: il sistema di *question answering* di Cordell Green (Green 1969) basato sulla Risoluzione di Robinson. Il MIT persegue, basandosi invece sulla filosofia della rappresentazione procedurale, l'obiettivo di rimpiazzare la logica con veri e propri linguaggi di programmazione orientati alla rappresentazione della conoscenza. Anche in questo caso viene presentato un primo risultato pratico: “(micro)Planner” di Carl Hewitt (Hewitt 1969), un vero linguaggio di programmazione dotato di interprete. Pochi anni dopo si sarebbe capito che Planner era in realtà molto simile alle clausole Horn definite (la programmazione logica, ormai dietro l'angolo). Si capirà anche che proprio i casi in cui il sistema di Green presentava difficoltà nel calcolo delle risposte, si collocavano al di fuori del potere espressivo della programmazione logica.

I primi anni Settanta sono quelli in cui si sviluppano le basi teoriche e pratiche della programmazione logica. Nel 1971, viene pubblicato l'articolo sulla SL-Resolution (Risoluzione lineare con funzione di selezione) di Robert Kowalski e Donald Kuehner (Kowalski e Kuehner 1971) di Edinburgo. È una strategia per l'uso della Risoluzione, purtroppo incompleta. Nel 1972 Kowalski visita, a Marsiglia, Alain Colmerauer, il quale, essendo interessato alla formalizzazione del linguaggio naturale, sta mettendo a punto un linguaggio di programmazione dotato di un interprete sviluppato insieme a Philippe Roussel (Colmerauer e Roussel 1992). Kowalski non ha ancora compiutamente identificato il sottoinsieme giusto, ma Colmerauer lo implementa. Il linguaggio risultante Prolog (Programmation en Logique) è, di fatto, il progenitore della programmazione logica (le clausole Horn definite), con, in aggiunta, un po' di primitive extra-logiche molto utili (*assert, retract, cut*) e un errore prolifico (l'unificazione senza *occur check*). Finalmente, all'IFIP 1974, Robert Kowalski pubblica l'articolo (Kowalski 1974) in cui identifica un sottoinsieme (le clausole Horn definite, clausole con al più un letterale positivo), per cui:

- la risoluzione lineare è completa;
- una dimostrazione è una derivazione della clausola vuota (terminazione!) attraverso una riscrittura nondeterministica (risoluzione SLD, semantica operativa);
- i vari tipi di clausole hanno una naturale interpretazione procedurale in termini di definizione e chiamata di sottoprogrammi con passaggio di parametri sofisticato (unificazione, non distinzione tra input e output, strutture dati parziali).

Così nasce la programmazione logica. Edinburgo ha messo d'accordo MIT e Stanford. Due anni dopo viene pubblicato l'articolo sulla semantica dei programmi logici (Kowalski e van Emden 1976): ogni programma ha un modello minimo di Herbrand (unico, la semantica!) e tale modello può essere costruito con un calcolo di punto fisso (bottom-up) nello stile della semantica denotazionale.

Entro la fine degli anni Settanta, vengono pubblicati altri due risultati importanti. Il primo è il compilatore “Edinburgh Prolog” di David Warren (Warren 1978), un vero capolavoro tecnologico. I meccanismi operazionali di Prolog (unificazione, non-determinismo) offrono grandi margini di ottimizzazione. Warren progetta una macchina target per la compilazione, chiamata “WAM” (Warren Abstract Machine), dotata di pila, *heap*, *garbage collector* e un compilatore molto sofisticato. Il risultato è che i programmi Prolog diventano anche efficienti! Il secondo risultato è la Negazione come fallimento, introdotta da Keith Clark (Clark 1978) all’Imperial College per permettere di utilizzare la negazione nel corpo delle clausole. Se la negazione fosse quella classica, si ricadrebbe nel caso generale perdendo le proprietà delle clausole Horn definite. Prolog permette l’uso della negazione, che, non essendo la negazione logica, è definita operazionalmente con il fallimento finito. Clark la giustifica dal punto di vista logico introducendo il completamento. Negli anni successivi vengono proposte altre negazioni ed altre semantiche (per esempio i modelli stabili ed i modelli *well-founded*). Su questa linea si forma un’ampia e molto attiva comunità di ricerca (*non-monotonic reasoning*) che guadagna rapidamente una propria autonomia.

Citiamo un ultimo risultato importante, la definizione della Programmazione logica con vincoli (Jaffar e Lassez 1987), nella quale il calcolo con l’unificazione sui termini di Herbrand viene sostituito da un calcolo su domini (per esempio, domini numerici o domini finiti) dotati di un algoritmo di soddisfacibilità.

Terminiamo mettendo in evidenza due aspetti importanti, anche dal punto di vista pratico, di Prolog e della programmazione logica. In Prolog le clausole sono rappresentate come dati (termini) ed esistono operazioni primitive per accedere, visitare e modificare i programmi. Tale rappresentazione rende possibile la metaprogrammazione. Il metainterprete base di Prolog consiste di tre sole clausole. È facilissimo definire attraverso metainterpreti estensioni del linguaggio e/o strumenti.

Il formalismo delle clausole Horn definite coincide praticamente con il metalinguaggio della semantica operazionale (regole di transizione, relazioni, nondeterminismo) ed ha il grande vantaggio di essere eseguibile. Una specifica (di un linguaggio o di un sistema) data mediante regole di transizione è quindi anche un prototipo funzionante. La “prototipazione rapida” è stata in effetti l’applicazione industriale più diffusa di Prolog.

Programmazione logica: eventi importanti

Il paragrafo elenca gli eventi principali (conferenze, riviste, associazioni, iniziative coordinate di ricerca), che hanno caratterizzato la programmazione logica.

- 1982: *First International Conference on Logic Programming* (ICLP), Marsiglia, prima edizione della prestigiosa conferenza che continua a svolgersi annualmente anche oggi.
- 1984: *Journal of Logic Programming* (JLP), fondato da Alan Robinson. Del comitato editoriale fanno parte tutti i padri fondatori, incluso il sottoscritto. Alla fine degli anni Novanta viene rimpiazzato da *Theory and Practice of Logic Programming* (TPLP).

- 1986: Association for Logic Programming (ALP), viene fondata la Associazione Internazionale.
- 1987: GULP, viene fondata la Associazione Italiana, presieduta per molti anni dal sottoscritto.

Vengono pubblicati i due libri fondamentali sulla teoria della programmazione logica (Lloyd 1987) e sulla programmazione avanzata in Prolog (Sterling e Shapiro 1994).

Nascono tre importanti iniziative di ricerca industriale che puntano sulla programmazione logica:

- 1982: Fifth Generation Computer Systems, ICOT, Tokyo, importante istituto di ricerca giapponese, che punta sulla programmazione logica come tecnologia su cui basare le nuove architetture e le nuove applicazioni di intelligenza artificiale.
- 1982: MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation), Austin, una parziale risposta americana all’ICOT, voluta da NSA e CIA, con un commitment meno forte alla programmazione logica.
- 1985: European Computer-Industry Research Centre (ECRC), Monaco di Baviera, la risposta europea all’ICOT, fortemente voluta dalla Comunità Europea. L’ECRC per alcuni anni sarà il punto di riferimento di numerosi progetti europei.

All’interno di ESPRIT, a partire dal 1985, anno in cui viene lanciato il primo progetto Computational Logic, vengono lanciati numerosi progetti in cui è coinvolta la programmazione logica insieme a progetti dedicati all’integrazione di paradigmi ed all’integrazione con le basi di dati. I progetti vedono una significativa presenza italiana, in particolare pisana.

Il 1995 è l’anno di fondazione della rete di eccellenza europea di Computational Logic (Compulog NoE), che raccoglie numerosi centri europei.

Le strutture di ricerca e i progetti sopra elencati hanno solo in parte raggiunto gli obiettivi per cui erano stati creati. Hanno tuttavia prodotto ottima ricerca e contribuito a formare una generazione di ricercatori duttili e competenti che porteranno con successo la cultura sviluppata sulla programmazione logica anche in altri campi dell’informatica.

Storia della programmazione funzionale

La programmazione funzionale è basata sul Lambda Calcolo, un sistema formale definito nel 1936 da Alonzo Church per analizzare formalmente le funzioni e il loro calcolo, e, in particolare, per dimostrare che esistono problemi indecidibili (Church 1936). Le funzioni sono espresse mediante un linguaggio formale che stabilisce quali siano le regole per formare un termine. Il calcolo è definito da un sistema di riscrittura che definisce come i termini possano essere ridotti e semplificati. Un termine si trova in forma normale se esso non è riscrivibile mediante la regola di beta-riduzione. Se la beta-riduzione rappresenta un passo di calcolo di un lambda termine che descrive un programma, allora la sua chiusura transitiva ne rappresenta una qualsiasi computazione. Quando una riduzione è finita e massimale, il termine ridotto in forma normale rappresenta il risultato finale del calcolo.

Il linguaggio LISP progettato da John McCarthy nel 1960 (McCarthy 1960), basato sul lambda calcolo, è un linguaggio ad alto livello estremamente innovativo, adottato immediatamente dalla comunità dei ricercatori di intelligenza artificiale (termine coniato dallo stesso McCarthy pochi anni prima e nel seguito definita anche IA). Tra le caratteristiche pionieristiche del linguaggio: la ricorsione, le strutture dati ad albero, il condizionale, le funzioni di ordine superiore, la gestione automatica della memoria dinamica attraverso un *garbage collector*. La struttura dati fondamentale di LISP è la “S-espressione”, albero binario con sulle foglie simboli (atomi). Anche le funzioni LISP (programmi) sono rappresentate come S-espressioni e possono essere manipolate, modificate e create durante una valutazione. Un aspetto che rende il linguaggio molto espressivo e adatto alla metaprogrammazione. Per LISP sono stati sviluppati compilatori molto efficienti e addirittura macchine (LISP machines) con architetture progettate per eseguire codice LISP.

“ML” è un linguaggio di programmazione funzionale sviluppato dal gruppo di Robin Milner (Harper, Milner, e Tofte 1990) a Edimburgo alla fine degli anni Settanta. Oltre alla gestione dinamica della memoria con *garbage collector*, simile a quella di LISP, ML ha una serie di caratteristiche che ne fanno un linguaggio sicuro, grazie all’inferenza dei tipi (l’algoritmo di Hindley-Milner riesce a inferire quasi tutti i tipi senza bisogno di dichiarazioni), al polimorfismo parametrico, ai tipi di dato algebrici, cui è associato il *pattern matching* e alla gestione delle eccezioni. La combinazione di tutte queste caratteristiche ha dato vita a uno dei migliori compilatori disponibili. ML, avanguardia dell’informatica teorica, incarna le idee di tipizzazione statica e polimorfismo ed è particolarmente adatto alle applicazioni teoriche come il progetto e lo sviluppo di linguaggi (compilatori, analizzatori, dimostratori di teoremi). Inoltre si presta alla descrizione della semantica denotazionale di un linguaggio fornendone una prototipazione rapida. ML possiede anche un frammento imperativo, con variabili, assegnamento ed effetti laterali. Tra le diverse estensioni di ML, segnaliamo il linguaggio OCaml, sviluppato all’INRIA da Xavier Leroy, Jerome Vouillon e Damien Dolguez. OCaml possiede un sistema ad oggetti con ereditarietà multipla. OCaml si distingue anche per le prestazioni. Il sistema di *runtime* è stato progettato per essere veloce, efficiente e avere poche richieste di memoria. OCaml fornisce un compilatore in *bytecode*, un interprete a riga di comando e un compilatore di codice nativo ottimizzato. Il codice generato dal compilatore nativo è tipicamente paragonabile dal punto di vista dell’efficienza con quelli di C/C++.

Altri paradigmi

Nell’area della programmazione imperativa, di grande importanza è la definizione del linguaggio ALGOL 60, che introduce concetti fondamentali come la gestione dinamica dell’ambiente e della memoria (pila dei record di attivazione). ALGOL 60 può essere considerato il capostipite di una grande famiglia di linguaggi di successo, da PASCAL a C. Tony Hoare disse: “Qui c’è un linguaggio così avanzato che non è solo un miglioramento rispetto ai predecessori ma anche rispetto ai propri successori”.

ALGOL 60 è stato sviluppato da un comitato di specialisti americani ed europei. La definizione sintattica di ALGOL 60 utilizza la Backus-Naur form, un metodo per

la descrizione formale dei linguaggi di programmazione, sviluppato da John Backus e Peter Naur, entrambi membri del comitato.

Nel 1964 IBM progettò il linguaggio PL/1, che aveva l’ambizione di rimpiazzare FORTRAN, COBOL e ALGOL, ma risultò complesso da implementare, fatto che ne decretò lo scarso successo.

Molti anni dopo, un comitato è stato incaricato di progettare un nuovo linguaggio orientato alle applicazioni militari e *real-time*. Il risultato è ADA, un linguaggio complesso, difficile da utilizzare e da implementare, così come evidenziato dalla sua semantica, che è parte integrante della definizione formale.

La programmazione orientata a oggetti nasce con il linguaggio SIMULA 67, una estensione di ALGOL inizialmente pensata per la simulazione, poi evolutasi in un linguaggio di tipo generale. Il linguaggio fu progettato in Norvegia da Kristen Nygaard e Ole-Johan Dahl (Nygaard e Dahl 1978). Con il passare degli anni il paradigma della programmazione orientata a oggetti diventa molto popolare e viene incorporato in versioni opportune dei più importanti linguaggi imperativi e funzionali, come C e ML.

Interpretazione astratta e analisi statica

Una gran parte delle attività di ricerca italiane nel campo della programmazione logica e funzionale si è interessata alle tecniche di analisi statica, che non sono tipiche di questi paradigmi ma hanno trovato in questi notevoli applicazioni, a causa della (relativa) semplicità delle loro semantiche. Uno strumento molto utile per effettuare analisi statiche è l’“interpretazione astratta” (Cousot e Cousot 1977; Cousot e Cousot 1979). Il risultato dell’analisi è la costruzione della semantica astratta ottenuta sistematicamente, combinando astrazione e approssimazione, a partire dalla scelta di un dominio astratto con il quale si intende modellare la proprietà da analizzare. Tra il dominio concreto e quello astratto va stabilita una connessione di Galois e a ciascun operatore semantico concreto va associato un operatore astratto localmente corretto. La semantica astratta può essere calcolata in un numero finito di passi, se il dominio astratto è *noetheriano*. Naturalmente la semantica astratta è meno precisa dell’astrazione della semantica concreta. Dato che la maggior parte delle analisi interessanti sono indecidibili, accettiamo una perdita di precisione (approssimazione) per rendere l’analisi fattibile. Se il dominio astratto non è *noetheriano* o se il calcolo del punto fisso astratto è troppo complesso, si possono usare operatori di *widening* che producono una ulteriore approssimazione.

Corrado Böhm e Alfonso Caracciolo di Forino

Corrado Böhm (1923-2017) e Alfonso Caracciolo di Forino (1925-1996) sono stati scienziati di grande importanza in Italia e a livello internazionale, con contributi fondamentali sia nell’area dei linguaggi che in quella dell’informatica teorica. Il saggio di Giorgio Ausiello su “Informatica teorica in Italia: origini e primi approcci” parla

diffusamente di loro. Böhm e Caracciolo sono stati tra i primi a parlare di *Universal machine* nella prima metà degli anni Cinquanta.

La tesi di dottorato in matematica di Böhm all'ETH di Zurigo (1954) fu una delle prime tesi al mondo riguardanti l'informatica. Il risultato della tesi, la cui originalità e importanza è riconosciuta in (Knuth e Pardo 1980), è la definizione di un linguaggio di programmazione molto innovativo, il cui compilatore è descritto nel linguaggio stesso (primo esempio di compilatore "metacircolare") (Böhm 1954). I due più importanti risultati negli anni a seguire sono: la definizione di CUCH, un linguaggio funzionale che mette insieme il calcolo combinatorio di Curry e il lambda calcolo di Church (Böhm e Gross 1966); il famoso teorema di Böhm e Jacopini (Böhm e Jacopini 1966) che costituisce il fondamento della programmazione strutturata.

Il fisico Caracciolo venne chiamato, nel 1955, a dirigere la sezione logico-matematica del Centro Studi Calcolatrici Elettroniche, creato a Pisa per progettare e realizzare il primo calcolatore elettronico italiano, la Calcolatrice Elettronica Pisana o CEP (Vanneschi 2009). Caracciolo fu responsabile del progetto logico della macchina, della definizione del linguaggio macchina e delle relative tecniche di programmazione.

Nella prima metà degli anni Sessanta Caracciolo lavorò su due temi principali: la definizione di linguaggi di programmazione basati sugli Algoritmi Normali di Markov (Caracciolo di Forino 1962), ricerca che culminò nella definizione del linguaggio PANON-1B (Caracciolo di Forino, Spanedda, e Wolkenstein 1966); lo studio di vari aspetti, sintattici, semantici e anche pragmatici dei linguaggi (Caracciolo di Forino 1963, 1964, 1965, 1966).

Böhm e Caracciolo sono stati anche i primi in Italia a tenere dei corsi universitari sui linguaggi di programmazione, a Pisa. Il corso di Böhm (1958) era più centrato sulla calcolabilità e la programmazione. Quello di Caracciolo (1961) era un vero corso di linguaggi, come lo intenderemmo oggi.

La ricerca in Italia

Gli anni Ottanta e Novanta dello scorso secolo sono stati caratterizzati dall'attivazione di numerosi tipi di progetti di ricerca coordinata: i Progetti finalizzati del CNR, i progetti ESPRIT della Comunità Europea, i progetti 40% del MURST. Il gruppo pisano di Giorgio Levi è presente in molti di questi progetti, in alcuni casi con un ruolo di coordinamento.

I progetti ESPRIT, a fronte di finanziamenti consistenti, prevedono la collaborazione con ricercatori provenienti dalle industrie. Il gruppo di Pisa è presente in due progetti approvati con il primo bando europeo (1983).

Il primo progetto, coordinato da Jaco de Bakker del Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) di Amsterdam, si occupa di linguaggi e architetture di nuova generazione. È un progetto di dimensione notevole, che vede la presenza di industrie europee importanti, come la Philips e la Siemens. Pisa collabora con lo CSELT di Torino sulla definizione di un linguaggio che combina programmazione logica e funzionale. Il

risultato è il linguaggio K-LEAF (Kernel Logic Equations and Functions)¹ (Bellia e Levi 1986; Giovannetti et al. 1991; Bosco et al. 1991). Catuscia Palamidessi, una dei progettisti del nuovo linguaggio, stabilisce relazioni con alcuni giovani ricercatori del CWI, collaborazione che continuerà in modo fruttuoso per molti anni.

Il secondo progetto, Epsilon, è un piccolo progetto, coordinato da Pisa, con la collaborazione del laboratorio di ricerca pisano della società torinese Systems & Management e di gruppi universitari francesi e tedeschi. Il contributo italiano riguarda la definizione di una versione di Prolog con mondi multipli, realizzata mediante meta-programmazione e la traduzione del livello meta attraverso un sofisticato valutatore parziale² (Levi e Sardu 1988b).

Il Progetto Finalizzato Informatica (1980-85) non prevedeva attività collegate ai temi di ricerca qui considerati. Il Progetto Finalizzato Sistemi Informatici e Calcolo Parallelo (1989-94) include il Sottoprogetto 4 (Linguaggi di nuova concezione), diretto da Gilberto Filè, che ha contribuito a creare una rete di gruppi, attivi su varie tematiche, quali il lambda calcolo, la programmazione logica, i sistemi di tipo, l'interpretazione astratta, e appartenenti alle università di Torino (Mariangiola Dezani), Padova (Gilberto Filè), Venezia (Annalisa Bossi), Udine (Furio Honsell), Genova (Maurizio Martelli), Bologna (Paola Mello), Pisa (Giorgio Levi), Roma (Marisa Venturini Zilli). Non essendo reperibile, né fisicamente, né online, la documentazione, il racconto del progetto è frutto della memoria dell'autore, e, di conseguenza, alcune informazioni riportate potrebbero essere inesatte e/o incomplete.

Alcuni dei gruppi citati stabiliscono collaborazioni anche per il Progetto 40% (1997) su Linguaggi di programmazione logici e funzionali, coordinato da Giorgio Levi. Tra i risultati conseguiti occorre citare le applicazioni della programmazione logica a problematiche di intelligenza artificiale, la definizione di nuove semantiche per i programmi logici e lo studio delle relazioni tra sistemi di tipo e interpretazione astratta.

La ricerca sulla programmazione logica e funzionale è continuata per molti anni, con la partecipazione di Pisa (Giorgio Levi, Franco Turini, Roberto Barbuti, Marco Bellia, Moreno Falaschi, Catuscia Palamidessi, Dino Pedreschi, Paolo Mancarella, Simone Martini, Maurizio Gabbrielli, Roberto Giacobazzi, Piero Bonatti, Maria Chia-

1. Bellia, Marco, Pier Giorgio Bosco, Elio Giovannetti, Giorgio Levi, Corrado Moiso, e Catuscia Palamidessi. 1987. "A two-level approach to logic plus functional programming integration." In *Proceedings PARLE Conference*, LNCS 258. Berlin: Springer-Verlag: 374-393; Bosco, Pier Giorgio, Elio Giovannetti, Giorgio Levi, Corrado Moiso, e Catuscia Palamidessi. 1987. "A complete semantic characterization of K-LEAF, a logic language with partial functions." In *Proceedings 1987 Symposium on Logic Programming*, IEEE Comp. Society Press: 318-327.

2. Levi, Giorgio, e Giuseppe Sardu. 1988a. "Partial Evaluation of Metaprograms in a "Multiple Worlds" Logic Language." In *Partial Evaluation and Mixed Computation*, Proceedings of the IFIP TC2 Workshop, Gammø Averaes, Denmark, October 1987, a cura di Dines Bjorner, Andrei P. Yershov e Neil D. Jones, Elsevier Science: 213-223; Coscia, Patrizia, Paola Franceschi, Giorgio Levi, Giuseppe Sardu, e Luigia Torre. 1988. "Object Level Reflection of Inference Rules by Partial Evaluation." In *Meta Level Architectures and Reflection*, a cura di Pattie Maes e Daniele Nardi. New York: North-Holland.

ra Meo, Alessandra Di Pierro, Roberto Bagnara, Francesca Levi, Daniele Turi, Marco Comini, Paolo Volpe, Francesca Scozzari, Gianluca Amato, Roberta Gori), Padova (Gilberto Filè, Francesco Ranzato), Venezia (Annalisa Bossi, Nicoletta Cocco, Agostino Cortesi, Michele Bugliesi, Sabina Rossi, Sandro Etalle, Elena Marchiori), Genova (Maurizio Martelli, Elisa Bertino). Dobbiamo aggiungere, a seguito di cambi di sede, Udine (Moreno Falaschi, Marco Comini), Verona (Roberto Giacobazzi, Alessandra Di Pierro), Bologna (Maurizio Gabbrielli, Evelina Lamma, Paola Mello), Parma (Roberto Bagnara) e Chieti-Pescara (Maria Chiara Meo, Francesca Scozzari, Gianluca Amato). Come si vede dalla bibliografia, le collaborazioni fra le varie sedi sono molto strette. Si notino anche le numerose collaborazioni con ricercatori stranieri.

La diffusione, in Italia, di una cultura dei linguaggi dal punto di vista dello sviluppo di software ha avuto come sede tre importanti Seminari, progettati da Mario Bolognani, svoltisi a Capri, negli anni 1980, 1982 (Bolognani, Ferrari, e Goguen 1983) e 1984, di cui parlano anche Aniello Cimitile e Carlo Ghezzi nel loro saggio sull'Ingegneria del Software, contenuto nel volume 2. I primi due furono organizzati da Systems & Management e SRI International. Il terzo da CRAI, Brown University e T&T Sud. Tra i relatori italiani ricordiamo: Luigia Carlucci Aiello, Domenico Ferrari, Giorgio Levi e Ugo Montanari. Tra quelli stranieri: Robert Balzer, Dines Bjørner, Andrei Ershov, Joseph Goguen, Bill Joy, Alan Kay, Butler Lampson, Barbara Liskov, Peter Neumann, Kristen Nygaard, Terry Winograd, Niklaus Wirth e Moshe Zloof.

Nel seguito si riportano i risultati relativi a diverse incarnazioni della programmazione logica e alle tecniche di analisi statica.

Dalla programmazione logica alla concorrenza

Sono stati studiati i processi logici perpetui (Levi e Palamidessi 1988) e una generalizzazione delle clausole Horn adatta a modellare la sincronizzazione (Falaschi, Levi, e Palamidessi 1984).

Programmi logici e con vincoli concorrenti

Sono state studiate alcune proprietà semantiche di linguaggi logici e con vincoli concorrenti (Falaschi et al. 1990; Falaschi e Levi 1990; Gabbrielli e Levi 1992; de Boer et al. 1991; de Boer, Di Pierro, e Palamidessi 1995; Falaschi et al. 1997b; de Boer et al. 1998).

La S-semantica

L'obiettivo di questo filone di ricerca è quello di definire semantiche punto fisso che modellino le proprietà che si vogliono osservare, dalle risposte calcolate ai *call patterns*. Tali semantiche sono giustificate dalle applicazioni di analisi e verifica. La vera S-semantica è la semantica delle risposte calcolate nei programmi logici. Variazioni riguardano la programmazione logica con vincoli, altre proprietà ed una più generale teoria degli osservabili³ (Falaschi et al. 1989; Bossi e Cocco 1993; Falaschi et al. 1993; Bossi et al. 1994; de Boer, Di Pierro, e Palamidessi 1997; Falaschi et al. 1997b; Comini e Meo 1999; Comini, Levi, e Meo 2001).³

Analisi di programmi logici via interpretazione astratta

Uno dei settori di ricerca più importanti, che va dalla definizione di *framework* generali alla costruzione di analisi specifiche⁴ (Barbuti e Giacobazzi 1992; Barbuti, Giacobazzi, e Levi 1993; Cortesi, Filè, e Winsborough 1996).

Operatori su domini astratti

Un settore di ricerca in cui gli italiani hanno dato un contributo molto importante a livello internazionale riguarda la definizione di operatori sui domini astratti (raffinamenti, chiusure, completamenti, complementi) che permettono di migliorarne la precisione (Filè, Giacobazzi, e Ranzato 1996; Giacobazzi, Palamidessi, e Ranzato 1996; Cortesi et al. 1997; Giacobazzi e Ranzato 1997a; Giacobazzi e Ranzato 1998a; Giacobazzi e Ranzato 1998b; Giacobazzi e Ranzato 1998c)⁵.

3. Levi, Giorgio. 1988. "Models, Unfolding Rules and Fixpoint Semantics." In *Proceedings of the Fifth International Conference on Logic Programming*, a cura di Robert A. Kowalski e Kenneth A. Bowen, MIT Press: 1649-1665; Levi, Giorgio, Maurizio Martelli, e Catuscia Palamidessi. 1990. "Failure and Success Made Symmetric." In *Proceedings of the North American Conference on Logic Programming 90*, a cura di Saumya K. Debray e Manuel Hermenegildo, MIT Press: 3-22; Gabbrielli, Maurizio, e Giorgio Levi. 1991a. "Modeling Answer Constraints in Constraint Logic Programs." In *Proceedings of the Eighth International Conference on Logic Programming*, a cura di, Koichi Furukawa, MIT Press: 238-252; Gabbrielli, Maurizio, e Giorgio Levi, 1991b. "On the Semantics of Logic Programs." In *Automata, Languages and Programming, 18th International Colloquium*, a cura di J. Leach Albert, Bruno Monien e Mario Rodriguez-Artalejo, LNCS 510, Berlin: Springer: 1-19; Gabbrielli, Maurizio, e Maria Chiara Meo. 1992. "Fixpoint Semantics for Partial Computed Answer Substitutions and Call Patterns." In *Algebraic and Logic Programming, Proceedings of the Third International Conference*, a cura di Helène Kirchner e Giorgio Levi, LNCS 632, Berlin: Springer: 84-99; Gabbrielli, Maurizio, Giorgio Levi, e Maurizio Martelli. 1993. "New Semantics Tools for Logic Programs." In *Semantics: Foundations and Applications, Proceedings REX Workshop*, a cura di Jaco W. de Bakker, William-Paul de Roever e Gregory Rozenberg, LNCS 666, Berlin: Springer: 204-235; Gabbrielli, Maurizio, Giorgio Levi, e Maria Chiara Meo. 1992. "Observational Equivalences for Logic Programs." In *Proceedings of the Joint International Conference and Symposium on Logic Programming*, a cura di Krzysztof Apt, MIT Press: 131-145; Bossi, Annalisa, Nicoletta Cocco, e Sandro Etalle. 1992. "On Safe Folding." In *Programming Language Implementation and Logic Programming- Proceedings PLILP92*, a cura di Maurice Bruynooghe e Martin Wirsing, LNCS 63, Berlin: Springer: 172-186.

4. Cortesi, Agostino, Gilberto Filè, e Will Winsborough. 1991. "Prop Revisited: Propositional Formula as Abstract Domain for Groundness Analysis." In *Proceedings of the Sixth IEEE Symposium on Logic in Computer Science*, IEEE Press: 322-327; Codognet, Philippe, e Gilberto Filè. 1992. "Computations, Abstractions and Constraints." In *Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Computer Languages*, IEEE Press: Cortesi, Agostino, Gilberto Filè, e Will Winsborough. 1992. "Comparison of Abstract Interpretations." In *Proceedings of the 19th International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP92)*, a cura di Werner Kuich, LNCS 623, Berlin: Springer: 521-532; Giacobazzi, Roberto, Saumya Debray, e Giorgio Levi. 1992. "A Generalized Semantics for Constraint Logic Programs." In *Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1992*: 581-591; Bagnara, Roberto, Roberto Giacobazzi, e Giorgio Levi. 1993. "An Application of Constraint Propagation to Data-flow Analysis." In *Proceedings of the Ninth IEEE Conference on AI Applications*, IEEE Computer Society Press: 270-276; Filè, Gilberto, e Sabina Rossi. 1993. "Static Analysis of Prolog with Cut." In *Proceedings Logic Programming and Automated Reasoning LPAR93*, LNCS 698, Berlin: Springer: 134-145; Le Charlier, Baudouin, Sabina Rossi, e Pascal Van Hentenryck. 1994. "An Abstract Interpretation Framework which accurately Handles Prolog Search-Rule and the Cut." In *Proceeding International Logic Programming Symposium (ILPS94)*, MIT Press: 157-171; Gabbrielli, Maurizio, e Roberto Giacobazzi. 1994. "Goal Independency and Call Patterns in the Analysis of Logic Programs." In *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*, ACM Press.

Sono stati studiati vari aspetti semantici di diverse versioni di Prolog, dal trattamento delle primitive a quello del controllo⁶ (Haridi, Janson, e Palamidessi 1992; Apt, Marchiori, e Palamidessi 1994; Barbuti et al. 1993).

Diagnosi astratta e verifica

Si tratta di due linee di ricerca. Nella prima è stata introdotta una versione astratta della diagnosi (debugging) dichiarativa e proposta una sua utilizzazione per la verifica formale⁷ (Comini et al. 1999; Comini et al. 2003). Nella seconda sono state studiate varie tecniche di verifica per Prolog e linguaggi logici con estensioni⁸ (Le Charlier et al. 1999; Bossi, Etalle, e Rossi 2000).

Modularità e programmi logici aperti

Sono state studiate varie tecniche per gestire la modularità in programmi logici⁹ (Bugliesi, Lamma, e Mello 1994).

5. Filé, Gilberto, e Francesco Ranzato. 1994. "Improving abstract interpretation by systematic lifting to the power set." In *Proceedings of the 1994 International Logic Programming Symposium*, a cura di Maurice Bruynooghe, MIT Press: 655-669; Cortesi, Agostino, Gilberto Filé, Roberto Giacobazzi, Catuscia Palamidessi, e Francesco Ranzato. 1995. "Complementation in abstract interpretation." In *Proceedings of the 2nd International Static Analysis Symposium*, a cura di Alan Mycroft, LNCS 983, Berlin: Springer-Verlag: 100-117; Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1995. "Functional dependencies and Moore-set completions of abstract interpretation and semantics." In *Proceedings of the 1995 International Logic Programming Symposium*, a cura di John Lloyd, MIT Press: 321-335; Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1996a. "Compositional optimization of disjunctive abstract interpretations." In *Proceedings of the 6th European Symposium on Programming*, a cura di Hanne R. Nielson, LNCS 1058, Berlin: Springer-Verlag: 141-155; Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1996b. "Complementing logic program semantics." In *Proceedings of the 5th International Conference on Algebraic and Logic Programming*, a cura di Michael Hanus e Mario Rodríguez-Artalejo, LNCS 1139, Berlin: Springer-Verlag: 238-253; Filé, Gilberto, e Francesco Ranzato. 1996. "Complementation of abstract domains made easy." In *Proceedings of the 1996 Joint International Conference and Symposium on Logic Programming*, a cura di Michael Maher, MIT Press: 348-362; Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1997b. "Refining and compressing abstract domains." In *Proceedings of the 24th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming*, a cura di Pierpaolo Degano, Roberto Gorrieri e Alberto Marchetti-Spaccamela, LNCS 1256, Berlin: Springer-Verlag: 771-781; Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1997c. "Completeness in abstract interpretation: a domain perspective." In *Proceedings of the 6th International Conference on Algebraic Methodology and Software Technology*, a cura di Michael Johnson, LNCS 1349, Berlin: Springer-Verlag: 231-245; Giacobazzi, Roberto, Francesco Ranzato, e Francesca Scozzari. 1998a. "Complete abstract interpretations made constructive." In *Proceedings of the 23rd International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science*, a cura di Lubos Brim, Jozef Gruska e Jiri Zlatuska, LNCS 1450, Berlin: Springer-Verlag: 366-377; Giacobazzi, Roberto, Francesco Ranzato, e Francesca Scozzari. 1998b. "Building complete abstract interpretation in a linear logic setting." In *Proceedings of the 5th International Static Analysis Symposium*, a cura di Giorgio Levi, LNCS 1503, Berlin: Springer-Verlag: 215-229.

6. Barbuti, Roberto, Michael Codish, Roberto Giacobazzi, e Michael J. Maher. 1992. "Oracle Semantics for PROLOG." In *Algebraic and Logic Programming, Proceedings of the Third International Conference*, a cura di Hélène Kirchner e Giorgio Levi, Lecture Notes in Computer Science 632, Berlin: Springer, Berlin: 100-114; Bossi, Annalisa, Michele Bugliesi, e Marco Fabris. 1993. "Fixpoint Semantics for PROLOG." In *Proceedings of the Tenth International Conference on Logic Programming*, a cura di David S. Warren, MIT Press: 374-389.

7. Comini, Marco, Giorgio Levi, e Giuliana Vitiello. 1995. "Declarative diagnosis revisited." In *Proceedings of the 1995 International Symposium on Logic Programming*, a cura di John Lloyd, MIT Press: 275-287.

Programmazione logica differenziale

È stata proposta una estensione della programmazione logica che introduce aspetti della programmazione orientata a oggetti¹⁰.

Nuove forme di negazione

È stata studiata una nuova e interessante forma di negazione chiamata intensionale (o costruttiva)¹¹ (Mancarella, Martini, e Pedreschi 1988; Barbuti et al. 1990), insieme ad altre questioni riguardanti la negazione e gli alberi SLDNF¹² (Martelli e Tricomi 1992; Di Pierro, Martelli, e Palamidessi 1995).

Nuovi costrutti come istanze di CLP

Sono stati ricostruiti come istanze di CLP la programmazione equazionale¹³ e un linguaggio per data base deduttivi con aggiornamenti¹⁴.

8. Le Charlier, Baudouin, Sabina Rossi, e Agostino Cortesi. 1996. "A Specification-based Automatic Verification of Prolog Programs." In *6th International Workshop, LOPSTR96*, Berlin: Springer: 38-57; Le Charlier, Baudouin, Christophe Leclère, Sabina Rossi, e Agostino Cortesi. 1997. "Automated Verification of Behavioural Properties of Prolog Programs." In *Third Asian Computing Science Conference, ASLAN97*, Berlin: Springer: 225-238; Bossi, Annalisa, e Sabina Rossi. 1998. "Specialising Logic Programs with respect to Call/Post Specifications." In *8th International Workshop, LOPSTR98*, Berlin: Springer: 143-158; Bossi, Annalisa, Sandro Etalle, e Sabina Rossi. 1999. "Properties of Input-Consuming Derivations." *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 30: 102-124; Bossi, Annalisa, Nicoletta Cocco, e Sabina Rossi. 2001. "Termination of Well-Typed Logic Programs." In *Proceedings of the 3rd International ACM SIGPLAN conference on Principles and practice of declarative programming, ACM*: 73-81; Bossi, Annalisa, Sandro Etalle, Sabina Rossi, e Jan Georg Smaus. 2001. "Semantics and Termination of Simply-moded Logic Programs with Dynamic Scheduling." In *10th European Symposium on Programming, ESOP 2001*, Berlin: Springer: 402-416; Cortesi, Agostino, Sabina Rossi, e Baudouin Le Charlier. 2001. "Operational Semantics for Reexecution-based Analysis of Logic Programs with Delay Declarations." *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 48: 29-44.

9. Bossi, Annalisa, Maurizio Gabbrielli, Giorgio Levi, e Maria Chiara Meo. 1992. "Contributions to the Semantics of Open Logic Programs." In *Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1992*: 570-580; Codish, Michael, Saumya Debray, e Roberto Giacobazzi. 1993. "Compositional Analysis of Modular Logic Programs." In *Proceedings of the Twentieth Annual ACM Symposium on Principles of Programming Languages*, ACM Press: 451-464.

10. Bossi, Annalisa, Michele Bugliesi, Maurizio Gabbrielli, Giorgio Levi, e Maria Chiara Meo. 1993. "Differential Logic Programming." In *Proceedings of the Twentieth Annual ACM Symposium on Principles of Programming Languages*, ACM Press: 359-370.

11. Barbuti, Roberto, Paolo Mancarella, Dino Pedreschi, e Franco Turini. 1987. "Intensional Negation of Logic Programs: Examples and Implementation Techniques." In *TAPSOFT 87*, a cura di Hartmut Ehrig, Robert Kowalski, Giorgio Levi e Ugo Montanari, Lecture Notes in Computer Science 250, Berlin: Springer-Verlag: 96-110; Bruscoli, Paola, Francesca Levi, Giorgio Levi, e Maria Chiara Meo. 1994. "Compilative Constructive Negation in Constraint Logic Programs." In *Proceedings of CAAP94*, a cura di Sophie Tison, Lecture Notes in Computer Science, Berlin: Springer, Berlin: 52-67.

12. Turi, Daniele. 1991. "Extending S-Models to Logic Programs with Negation." In *Proceedings of the Eighth International Conference on Logic Programming*, a cura di Koichi Furukawa, MIT Press: 397-411; Gabbrielli, Maurizio, Giorgio Levi, e Daniele Turi. 1992. "A Two Steps Semantics for Logic Programs with Negation." In *Proceedings of the International Conference on Logic Programming and Automated Reasoning*, a cura di Andrei Voronkov, LNAI 624, Berlin: Springer: 297-308.

Programmazione logica autoepistemica

È stata proposta una logica autoepistemica come schema unificante per trattare la semantica della programmazione logica¹⁵ (Bonatti 1994; Bonatti 1995).

Programmazione con vincoli concorrente probabilistica

È stata avviata una formalizzazione della semantica probabilistica per la programmazione con vincoli¹⁶.

Formalizzazione della metaprogrammazione

È stata avviata una nuova formalizzazione della metaprogrammazione¹⁷.

Linguaggi di programmazione: un'esperienza didattica

I tre paradigmi importanti (programmazione funzionale, programmazione imperativa e programmazione orientata ad oggetti) si prestano a un trattamento uniforme al quale, partendo dai linguaggi funzionali puri, si aggiungono, in modo incrementale, aspetti di programmazione imperativa e orientata ad oggetti. La programmazione logica richiede, invece, un trattamento diverso.

È stato progettato un corso di Linguaggi di programmazione “vivo”¹⁸, nel quale tutti i concetti esposti sono anche implementati nel già citato linguaggio Ocaml. I concetti del

13. Alpuente, Maria, e Moreno Falaschi. 1991. “Narrowing as an Incremental Constraint Satisfaction Algorithm.” In *Proceedings of PLILP 91*, a cura di Jan Maluszynski e Martin Wirsing, LNCS 528, Berlin: Springer: 111-122; Alpuente, Maria, Moreno Falaschi, Maurizio Gabbriellini, e Giorgio Levi. 1993. “The Semantics of Equational Logic Programming as an Instance of CLP.” In *Logic Programming Languages: Constraints, Functions and Objects*, a cura di Krzysztof R. Apt, Jaco W. de Bakker e Jan J. M. M. Rutten, Boston: MIT Press: 49-81.

14. Bertino, Elisa, Maurizio Martelli, e Danilo Montesi. 1992. “CLP(AD) as a Deductive Database Language with Updates.” In *Extensions of Logic Programming, Proceedings of the Third International Workshop on Extensions of Logic Programming*, ELP92, a cura di Evelina Lamma e Paola Mello, Lecture Notes in Artificial Intelligence 660, Berlin: Springer: 80-99.

15. Bonatti, Piero A. 1992. “Autoepistemic Logics as a Unifying Framework for the Semantics of Logic Programs.” In *Logic Programming, Proceedings of the Joint International Conference and Symposium on Logic Programming*, a cura di Krzysztof R. Apt, MIT Press: 417-430.

16. Di Pierro, Alessandra, e Herbert Wiklicky. 1998a. “An operational semantics for probabilistic concurrent constraint programming.” In *Proceedings of IEEE Computer Society International Conference on Computer Languages*, Loyola University Chicago; Di Pierro, Alessandra, e Herbert Wiklicky. 1998b. “Probabilistic concurrent constraint programming. Towards a fully abstract model.” In *Proc. of the 23rd International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science*, MFCS98, Lecture Notes in Computer Science, Berlin: Springer-Verlag.

17. Levi, Giorgio, e Davide Ramundo. 1993. “A Formalization of Metaprogramming for Real.” In *Proceedings of the Tenth International Conference on Logic Programming*, a cura di David S. Warren, MIT Press: 354-373.

18. Levi, Giorgio. 2009. “Linguaggi di programmazione.” Corso, Università di Pisa. <http://groups.di.unipi.it/~levi/corsoLP/pagina.html>

linguaggio che si definisce (e si implementa) sono introdotti in modo incrementale, dai tipi di dato, al frammento funzionale, imperativo, fino al linguaggio orientato ad oggetti. Il linguaggio finale, se prescindiamo dalla sintassi, è Ocaml stesso. Ci sono anche (senza implementazione) utilizzazioni di tecniche semantiche avanzate: l'interpretazione astratta per realizzare un algoritmo di inferenza dei tipi e la valutazione parziale come modo per ottenere sistematicamente la compilazione attraverso la specializzazione dell'interprete. Il materiale del corso (slide e programmi) è reperibile on line.

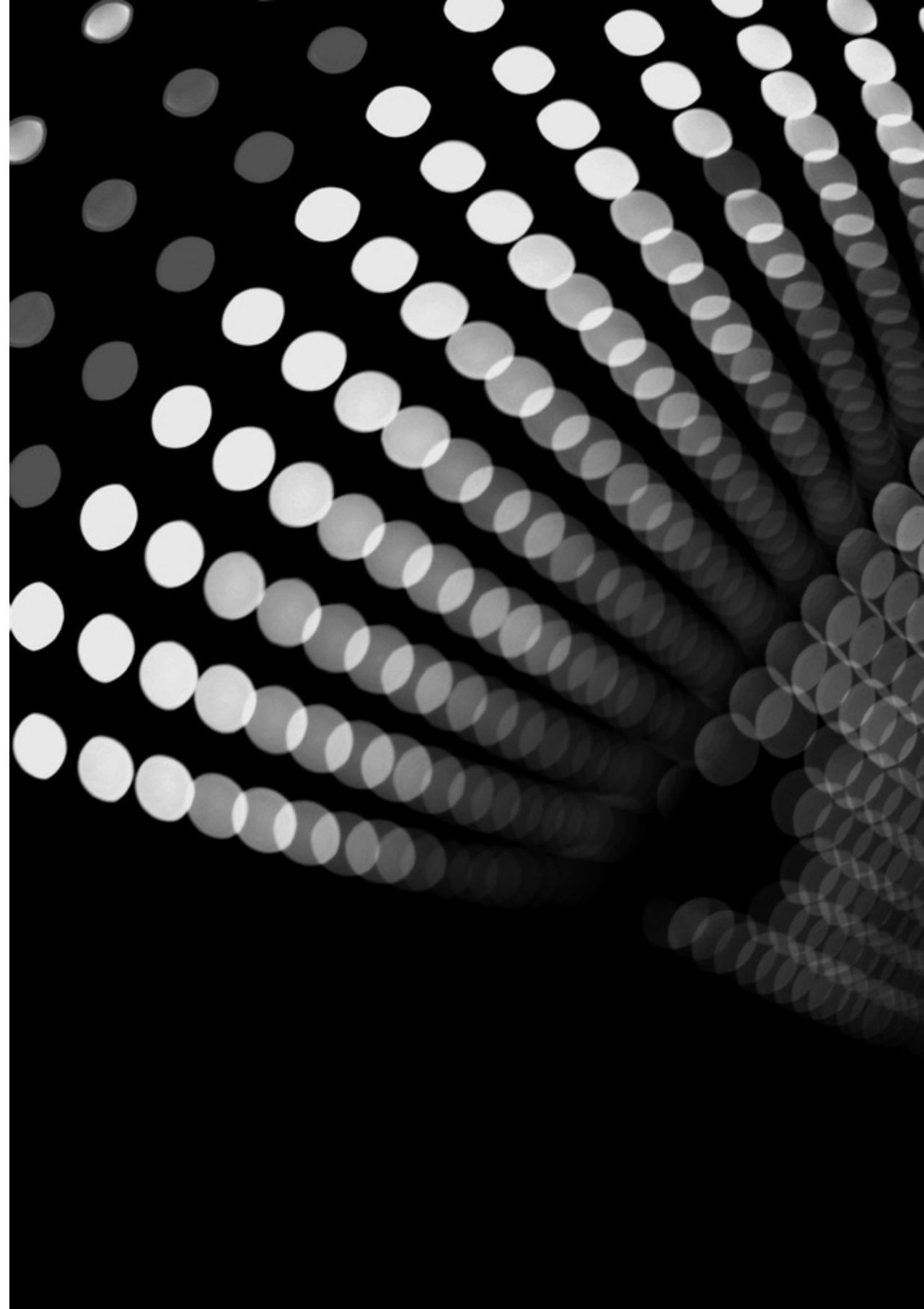
BIBLIOGRAFIA

- Apt, Krzysztof R., Elena Marchiori, e Catuscia Palamidessi. 1994. “A Declarative Approach for First-Order Built-in's of Prolog.” *Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing* 5 (3-4): 159-191.
- Barbuti, Roberto, Michael Codish, Roberto Giacobazzi, e Giorgio Levi. 1993. “Modelling Prolog Control.” *Journal of Logic and Computation* 3: 579-603.
- Barbuti, Roberto, e Roberto Giacobazzi. 1992. “A Bottom-up Polymorphic Type Inference in Logic Programming.” *Science of Computer Programming* 19 (3): 281-313.
- Barbuti, Roberto, Roberto Giacobazzi, e Giorgio Levi. 1993. “A General Framework for Semantics-Based Bottom-Up Abstract Interpretation of Logic Programs.” *ACM Transactions on Programming Languages and Systems* 15 (1): 133-181.
- Barbuti, Roberto, Paolo Mancarella, Dino Pedreschi, e Franco Turini. 1990. “A transformational approach to negation in logic programming.” *Journal of Logic Programming* 8: 201-228.
- Bellia, Marco, e Giorgio Levi. 1986. “The relation between logic and functional languages: A survey.” *Journal of Logic Programming* 3: 217-236.
- Böhm, Corrado, 1954. “Calculatrices digitales. Du déchiffrement des formules logico-mathématiques par la machine même dans la conception du programme.” *Ann. Mat. Pura Appl.*, 37 (4), 1-5.
- Böhm, Corrado, e Wolf Gross, 1966. “Introduction to the CUCH.” In *Automata Theory*, a cura di Eduardo R. Caianiello, 35-65. New York: Academic Press.
- Böhm, Corrado, e Giuseppe Jacopini, 1966. “Flow diagrams, Turing machines and languages with only two formation rules.” *Comm. ACM*, 5 (9), 366-371.
- Bolognani, Mario, Domenico Ferrari, e Joseph Goguen. 1983. *Theory and Practice of Software Technology*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Bonatti, Piero A. 1994. “Autoepistemic Logic Programming.” *Journal of Automated Reasoning* 13: 35-67.
- Bonatti, Piero A. 1995. “Autoepistemic Logics as a Unifying Framework for the Semantics of Logic Programs.” *Journal of Logic Programming* 22: 91-149.
- Bosco, Pier Giorgio, Elio Giovannetti, Corrado Moiso, e Catuscia Palamidessi. 1991. “Logic programming with equations.” *Journal of Logic Programming* 11 (1): 85-89.
- Bossi, Annalisa, e Nicoletta Cocco. 1993. “Basic Transformation Operations for Logic Programs which Preserve Computed Answer Substitutions of Logic Programs.” *Journal of Logic Programming* 16: 47-87.
- Bossi, Annalisa, Sandro Etalle, e Sabina Rossi. 2000. “Semantics of well-moded input-consuming logic programs.” *Computer languages* 26: 1-25.

- Bossi, Annalisa, Maurizio Gabbrielli, Giorgio Levi, e Maurizio Martelli. 1994. "The s-semantics approach: Theory and applications." *Journal of Logic Programming* 19-20: 149-197.
- Bugliesi, Michele, Evelina Lamma, e Paola Mello. 1994. "Modularity in Logic Programming." *Journal of Logic Programming* 19 (20): 443-502.
- Caracciolo di Forino, Alfonso. 1962. "On a Research Project in the Field of Languages for Processor Construction." In *Proceedings IFIP Congress*: 514-515.
- Caracciolo di Forino, Alfonso. 1963. "Some remarks on the syntax of symbolic programming languages." *Communications of the ACM*, 6 (8): 456-460.
- Caracciolo di Forino, Alfonso. 1964. "On the concept of formal linguistic systems." In *Proceedings of the IFIP Working Conference on Formal Language Description Languages*: 37-51.
- Caracciolo di Forino, Alfonso. 1965. "Linguistic problems in programming theory." *Proceedings IFIP Congress*, 223-228.
- Caracciolo di Forino, Alfonso. 1966. "Some preliminary remarks on theoretical pragmatics." *Communications of the ACM*, 9 (3): 226-227.
- Caracciolo di Forino, Alfonso, Luigino Spanedda, e Nicola Wolkenstein. 1966. "PANON-1B: a programming language for symbol manipulation." *Calcolo*, 3 (2): 245-265; pubblicato anche su *Communications of the ACM*, 9 (8): 549.
- Church, Alonzo. 1936. "An unsolvable problem of elementary number theory." *American Journal of Mathematics* 58 (2): 345-363.
- Clark, Keith L. 1978. "Negation as failure." In *Logic and Data Bases*, a cura di Hervé Gallaire e Jack Minker, 293-322. New York: Plenum Press.
- Colmerauer, Alain, e Philippe Roussel. 1992. *La naissance de Prolog*. Bruxelles: Editions universitaires européennes.
- Comini, Marco, Roberta Gori, Giorgio Levi, e Paolo Volpe. 2003. "Abstract Interpretation based Verification of Logic Programs." *Science of Computer Programming* 49 (1-3): 89-123.
- Comini, Marco, Giorgio Levi, e Maria Chiara Meo. 2001. "A Theory of Observables for Logic Programs." *Information and Computation* 169:23-80.
- Comini, Marco, Giorgio Levi, Maria Chiara Meo, e Giuliana Vitiello. 1999. "Abstract diagnosis." *Journal of Logic Programming* 39 (1-3): 43-93.
- Comini, Marco, e Maria Chiara Meo. 1999. "Compositionality properties of SLD-derivations." *Theoretical Computer Science* 211 (1-2):275-309.
- Cortesi, Agostino, Gilberto Filè, Roberto Giacobazzi, Catuscia Palamidessi, e Francesco Ranzato. 1997. "Complementation in Abstract Interpretation." *ACM Transactions on Programming Languages and Systems* 19 (1): 7-47.
- Cortesi, Agostino, Gilberto Filè, e Will Winsborough. 1996. "Optimal Groundness Analysis Using Propositional Logic." *Journal of Logic Programming* 27 (2): 137-167.
- Cousot, Patrick, e Radhia Cousot. 1977. "Abstract interpretation: a unified lattice model for static analysis of programs by construction or approximation of fixpoints." In *Conference Record of the Fourth Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages, Los Angeles, California*. New York: ACM Press: 238-252.
- Cousot, Patrick, e Radhia Cousot. 1979. "Systematic design of program analysis frameworks." In *Conference Record of the Sixth Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages, Los Angeles, California*. New York: ACM Press: 269-282.
- de Boer, Frank S., Alessandra Di Pierro, e Catuscia Palamidessi. 1995. "Infinite computations in nondeterministic constraint programming." *Theoretical Computer Science* 151 (1): 37-78.
- de Boer, Frank S., Alessandra Di Pierro, e Catuscia Palamidessi. 1997. "An algebraic perspective of constraint logic programming." *Journal of Logic and Computation* 7 (1): 1-38.
- de Boer, Frank S., Maurizio Gabbrielli, Elena Marchiori, e Catuscia Palamidessi. 1998. "Proving Concurrent Constraint Programs Correct". *ACM Transactions on Programming Languages and Systems* 19 (5): 685-725.
- de Boer, Frank S., Joost N. Kok, Catuscia Palamidessi e Jan J.M.M. Rutten. 1991. "Semantic models for Concurrent Logic Languages." *Theoretical Computer Science* 86 (1): 3-33.
- de Boer, Frank S., Joost N. Kok, Catuscia Palamidessi, e Jan J.M.M. Rutten. 1992. "From failure to success: Comparing a denotational and a declarative semantics for Horn Clause Logic." *Theoretical Computer Science* 101 (2): 239-263.
- Di Pierro, Alessandra, Maurizio Martelli, e Catuscia Palamidessi. 1995. "Negation as Instantiation." *Information and Computation* 120 (2): 263-278.
- Falaschi, Moreno, Maurizio Gabbrielli, Giorgio Levi, e Masaki Murakami. 1990. "Nested Guarded Horn Clauses." *International Journal on Foundations of Computer Science* 1 (3): 249-263.
- Falaschi, Moreno, Maurizio Gabbrielli, Kim Marriott, e Catuscia Palamidessi. 1997a. "Constraint Logic Programming with Dynamic Scheduling: A Semantics Based on Closure Operators." *Information and Computation* 137 (1): 41-67.
- Falaschi, Moreno, Maurizio Gabbrielli, Kim Marriott, e Catuscia Palamidessi. 1997b. "Confluence in Concurrent Constraint Programming." *Theoretical Computer Science* 183 (2): 281-315.
- Falaschi, Moreno, e Giorgio Levi. 1990. "Finite failures and partial computations in concurrent logic languages." *Theoretical Computer Science* 75: 45-66.
- Falaschi, Moreno, Giorgio Levi, Maurizio Martelli, e Catuscia Palamidessi. 1989. "Declarative Modeling of the Operational Behavior of Logic Languages." *Theoretical Computer Science* 69 (3):289-318.
- Falaschi, Moreno, Giorgio Levi, Maurizio Martelli, e Catuscia Palamidessi. 1993. "A Model-Theoretic Reconstruction of the Operational Semantics of Logic Programs." *Information and Computation* 102 (1): 86-113.
- Falaschi, Moreno, Giorgio Levi, e Catuscia Palamidessi. 1984. "A synchronization logic: Axiomatics and formal semantics of generalized Horn clauses." *Information and Control* 60 (1-3): 36-69.
- Filé, Gilberto, Roberto Giacobazzi, e Francesco Ranzato. 1996. "A unifying view of abstract domain design." *ACM Computing Surveys* 28 (2): 333-336.
- Gabbrielli, Maurizio, e Giorgio Levi. 1992. "Unfolding and Fixpoint Semantics of Concurrent Constraint Programs." *Theoretical Computer Science* 105: 85-128.
- Giacobazzi, Roberto, Catuscia Palamidessi, e Francesco Ranzato. 1996. "Weak Relative Pseudo-Complements of Closure Operators." *Algebra Universalis* 36 (3): 405-412.
- Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1997a. "On the least complete extension of complete semilattices." *Algebra Universalis* 38 (3): 235-237.
- Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1998a. "Optimal domain for disjunctive abstract interpretation." *Science of Computer Programming* 32 (1-3): 177-210.
- Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato. 1998b. "Some properties of complete congruence lattices." *Algebra Universalis* 40 (2): 189-200.
- Giacobazzi, Roberto, e Francesco Ranzato, 1998c. "Uniform closures: order-theoretically reconstructing logic program semantics and abstract domain refinements." *Information and Computation* 145 (2): 153-190.
- Giovannetti, Elio, Giorgio Levi, Corrado Moiso, e Catuscia Palamidessi. 1991. "Kernel LEAF: a logic plus functional language." *Journal of Computer and System Sciences* 42 (2): 139-185.

- Green, Cordell. 1969. "Application of Theorem Proving to Problem Solving." In *IJCAI69 Proceedings of the First International Joint Conference on Artificial Intelligence, 7-9 Maggio 1969, Washington, D.C.*, San Francisco: Morgan Kaufmann: 219-240.
- Haridi, Seif, Sverker Janson, e Catuscia Palamidessi. 1992. "Structural transformational semantics for AKL." *Future Generation Computer Systems* 8 (4): 409-421.
- Harper, Robert, Robin Milner, e Mads Tofte. 1990. *The definition of standard ML*. Boston: MIT Press.
- Hewitt, Carl. 1969. "PLANNER: A language for proving theorems in Robots." In *IJCAI69 Proceedings of the First International Joint Conference on Artificial Intelligence, 7-9 Maggio 1969, Washington, D.C.*, San Francisco: Morgan Kaufmann: 295-301.
- IJCAI69. 1969. *First International Joint Conference on Artificial Intelligence. 7-9 Maggio 1969, Washington, D.C.*
- Jaffar, Joxan, e Jean-Louis Lassez. 1987. "Constraint Logic Programming." In *Proceedings of the 14th ACM SIGACT-SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages*: 111-119.
- Knuth, Donald, e Luis Trabb Pardo. 1980. "The early development of programming languages." In *A History of Computing in the Twentieth Century*, a cura di Nicholas C. Metropolis, Jack Howlett, e Gian Carlo Rota, 197-273. New York: Academic Press.
- Kowalski, Robert. 1974. "Predicate Logic as a Programming Language." In *Proceedings IFIP Congress, Stockholm*. New York: North Holland Publishing Co.: 569-574.
- Kowalski, Robert, e Donald Kuehner. 1971. "Linear resolution with selection function." *Artificial Intelligence* 2 (3-4): 227-260.
- Kowalski, Robert, e Maarten H. van Emden. 1976. "The Semantics of Predicate Logic as a Programming Language." *JACM* 23 (4): 733-742.
- Le Charlier, Baudouin, Christophe Leclère, Sabina Rossi, e Agostino Cortesi. 1999. "Automated Verification of Prolog Programs." *Journal of Logic Programming* 39: 3-42.
- Levi, Giorgio, e Catuscia Palamidessi. 1988. "Contributions to the semantics of logic perpetual processes." *Acta Informatica* 25 (6): 691-711.
- Levi, Giorgio, e Giuseppe Sardu. 1988b. "Partial Evaluation of Metaprograms in a "Multiple Worlds" Logic Language." *New Generation Computing* 6: 237-247.
- Lloyd, John W. 1987. *Foundations of Logic Programming*. 2nd edition, Berlin: Springer-Verlag.
- Mancarella, Paolo, Simone Martini, e Dino Pedreschi. 1988. "Complete Logic Programs with Domain Closure Axiom." *Journal of Logic Programming* 5 (3): 263-276.
- Martelli, Maurizio, e Chiara Tricomi. 1992. "A New SLDNF-Tree." *Information Processing Letters* 43 (2): 57-62.
- McCarthy, John. 1960. "Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I." *Communications of the ACM* 3 (4): 184-195.
- Nygaard, Kristen, e Ole-Johan Dahl. 1978. *The development of the SIMULA languages. History of programming languages*. New York: Association for Computing Machinery: 439-480.
- Robinson, John Alan. 1965. "A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle." *Communications of the ACM* 5: 23-41.
- Sterling, Leon, e Ehud Shapiro. 1994. *The art of PROLOG*, Second Edition: Advanced Programming Technologies. Boston: MIT Press.
- Vanneschi, Marco. 2009. *La CEP: storia, scienza e umanità dell'avventura informatica pisana*. Pisa: Felici.
- Warren, David. 1978. *Applied logic: its use and implementation as a programming tool*. Tesi di dottorato, University of Edinburgh.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-27>

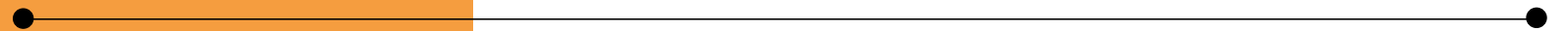


28

**Linee
di ricerca**

Roberto Bruni
Ugo Montanari

Sistemi concorrenti



Introduzione

La scienza dell'informatica si articola in diverse aree di studio e applicazioni dedicate alla gestione dell'informazione tramite sistemi digitali. Il termine informazione include tutte le forme di dati e le conoscenze che possono essere rappresentate, elaborate e trasmesse digitalmente. L'informatica comprende, ad esempio, la progettazione e l'ingegnerizzazione sia dei sistemi hardware e software, sia delle reti di comunicazione e dei sistemi IoT (Internet of Things) per connettere dispositivi fisici in un ambiente digitale. La capacità di elaborare nuove informazioni permette di affrontare le sfide complesse di un mondo sempre più interconnesso, quali lo sviluppo di sistemi per l'intelligenza artificiale – che simula l'intelligenza umana – e per la sicurezza informatica, un aspetto critico nella protezione dei dati e dei sistemi.

In questo contesto, l'informatica è uno dei pilastri su cui poggiano il progresso e la trasformazione della società.

La definizione di modelli concettuali, come spesso accade nelle scienze sperimentali, è di fondamentale importanza per l'informatica. Nel seguito evidenziamo alcune delle funzioni cruciali svolte dai modelli concettuali.

- **Comprendere e analizzare**
i modelli sono un quadro teorico che facilita il ragionamento e l'analisi. Attraverso l'uso di essi è possibile esplorare le dinamiche interne dei sistemi digitali e identificare importanti relazioni causali tra i loro componenti.
- **Operatività**
i modelli sono una rappresentazione astratta di sistemi digitali complessi permettendo di progettarli e realizzarli in modo più efficace.
- **Organizzare**
la complessità dei sistemi digitali richiede un approccio strutturato e organizzato. Ideando modelli appropriati, i progettisti sono in grado di sviluppare soluzioni pratiche e innovative.
- **Flessibilità**
i modelli consentono di esplorare sistemi digitali nei vari livelli di dettaglio, dalla visione astratta fino alle implementazioni pratiche. Questa flessibilità può garantire il rispetto delle esigenze specifiche di ogni sistema.

Con l'obiettivo di fornire una visione chiara e approfondita delle sfide intrinseche e delle ricadute derivanti dalla definizione di modelli adeguati, l'oggetto di questo capitolo riguarda proprio uno degli aspetti preminenti negli attuali sistemi digitali, la "concorrenza", concentrandosi su uno dei modelli concettuali più rilevanti in quest'ambito, le reti di Petri.

I sistemi concorrenti offrono un caso di studio privilegiato perché evidenziano come la definizione di modelli astratti sia una risorsa di inestimabile valore per affrontare con successo la complessità di certe computazioni.

Le reti di Petri permettono di istanziare in modo abbastanza semplice e illustrativo molti approcci e molte costruzioni matematiche che si applicano a modelli ben più generali e sofisticati.

La concorrenza

Mentre l'essere umano tende a ragionare preminentemente in modo lineare e sequenziale seguendo una serie di passaggi per risolvere problemi e prendere decisioni (magari in modo multitasking), il mondo dei sistemi digitali opera in un modo intrinsecamente concorrente, simile a quello degli ecosistemi naturali.

Ad esempio, qualsiasi sistema operativo di un dispositivo che accompagna le nostre attività quotidiane, sia esso uno smartphone, un tablet o un pc, gestisce molteplici processi in esecuzione simultanea, consentendo agli utenti di eseguire diverse attività contemporaneamente, come riprodurre musica, e nel mentre, scrivere un messaggio o un documento. L'allocazione delle risorse di sistema e la gestione dei processi sfruttano la concorrenza per ottimizzare le prestazioni del dispositivo. Analogamente, nei sistemi *embedded* (come controllori di volo, auto mobili intelligenti e dispositivi IoT), la concorrenza è essenziale per gestire contemporaneamente molteplici operazioni in tempo reale, tra le quali il monitoraggio dei sensori, l'elaborazione dei dati e l'esecuzione di azioni di controllo. Su scala più ampia troviamo anche le piattaforme di calcolo distribuito, le reti *peer-to-peer* e le *blockchain*: tutte si basano sulla concorrenza per permettere a più nodi di collaborare nello svolgimento di compiti e transazioni senza dipendere necessariamente da un'autorità centrale.

A scanso di equivoci, è bene chiarire che concorrenza e parallelismo sono termini correlati ma distinti: la prima si occupa di gestire l'esecuzione di più processi sequenziali e delle loro possibili interdipendenze astraendo dal concetto di tempo; il secondo sfrutta la possibilità di eseguire più processi simultaneamente per aumentare le prestazioni. Ad esempio, è possibile realizzare la concorrenza alternando l'esecuzione di più processi su un singolo processore mentre per realizzare il parallelismo sono necessari più processori.

Lo studio dei sistemi concorrenti

Un tratto distintivo dei sistemi concorrenti è stato quello di introdurre nuove problematiche non riscontrabili in sistemi sequenziali. Storicamente, il punto di svolta nello sviluppo della concorrenza in ambito informatico può essere individuato nel cambio di paradigma e nelle relative evoluzioni concettuali dei sistemi operativi avvenute nei primi anni Sessanta, ovvero nella cosiddetta terza generazione di macchine per il calcolo.

Il caso esemplare è quello della famiglia di elaboratori IBM System/360, che rendeva possibile la presenza contemporanea di più programmi in memoria (multiprogrammazione): il sistema operativo poteva sospendere l'esecuzione di un processo sequenziale a favore di un altro e riprenderla in un momento successivo, ad esempio per effettuare operazioni di input/output. Questo ha aperto la strada sia all'ideazione di primitive di accesso multiplo necessarie per la multiprogrammazione che allo sviluppo di componenti hardware che ne favorissero la realizzazione, al contrario delle precedenti architetture. A partire da questo cambio di paradigma e dalle relative evoluzioni concettuali sono emersi nuovi fenomeni, tra i quali, almeno i seguenti meritano una menzione.

- **Impredicibilità**
lo stesso codice eseguito più volte può portare a risultati diversi a causa del diverso ordine con cui certe operazioni concorrenti vengono eseguite. Questo fenomeno complica terribilmente le attività di *debugging*, dato che gli errori riscontrati durante un'esecuzione sono spesso *heisenbug*: difficili da riprodurre e da tracciare. Tra le cause principali citiamo le cosiddette *race condition*, dovute a processi in esecuzione che competono per modificare una risorsa comune quale una certa area di memoria condivisa o una periferica fisica.
- **Mutua esclusione**
spesso sorge la necessità di garantire a un singolo processo l'accesso esclusivo a determinate operazioni, come l'aggiornamento dello stato di una risorsa condivisa. I meccanismi di mutua esclusione servono per programmare i processi che contendono una risorsa, evitando che riescano ad accedervi contemporaneamente.
- **Deadlock**
un insieme di processi è in *deadlock* quando ogni processo dell'insieme si trova in attesa di un qualche evento che compete a un altro processo dello stesso insieme. Gli eventi interessati possono essere la ricezione di un dato o la possibilità di accedere senza interferenze a una risorsa condivisa.
- **Starvation**
si verifica quando le politiche di accesso alle risorse condivise penalizzano un processo rispetto agli altri, fino al punto in cui il processo risulta bloccato pur non trovandosi in una condizione di *deadlock*.
- **Interazione**
i processi concorrenti non operano in maniera completamente indipendente, ma devono coordinarsi. Per esprimere le interazioni possibili sono state sviluppate diverse astrazioni, quali memoria condivisa, comunicazione asincrona e sincrona, ognuna coi suoi limiti e vantaggi.
- **Comportamento emergente**
dalla composizione di semplici processi sequenziali possono emergere comportamenti molto complessi e talvolta inattesi.

In seguito, mostreremo semplici esempi che illustrano alcuni dei fenomeni elencati. Affrontare problematiche di questa natura ha richiesto lo sviluppo di nuove teorie, metodi e strumenti che possiamo suddividere in tre direzioni di ricerca, ancora oggi molto attive:

- la proposta di nuovi modelli computazionali per sistemi concorrenti che permettano di enucleare alcuni meccanismi distintivi e di sperimentarne l'efficacia e l'espressività.
- l'individuazione delle leggi logiche e algebriche che regolano il comportamento dei modelli per la concorrenza;
- la definizione di opportune nozioni di equivalenza e di simulazione, per confrontare l'espressività di modelli diversi e garantire il principio di composizionalità, ovvero la garanzia di poter sostituire componenti equivalenti in qualsiasi contesto senza alterare il comportamento globale del sistema.

Data la complessità dei sistemi oggetto di studio, nello sviluppo di strumenti formali per la loro analisi e verifica è importante sottolineare l'importanza di disporre di teorie e metodi matematici solidi, ben fondati, riutilizzabili ed estendibili. Da un lato, questi possono giustificare la correttezza di certe costruzioni (ad esempio, in termini di minimalità o ottimalità) e dall'altro possono guidarne l'evoluzione, la sperimentazione e l'applicazione nello sviluppo del cosiddetto software corretto per costruzione (*safe by design*). Queste formalizzazioni sono necessarie anche per poter introdurre moderni sistemi di deduzione automatica e assistita come Rocq Prover (<https://rocq-prover.org/>) nel ciclo dello sviluppo del software. In molti dei casi discussi in questo contributo, lo strumento matematico utilizzato è quello della teoria delle categorie (Mac Lane, 1998) che permette di esprimere in modo uniforme molti concetti e le relazioni tra essi, fornendo un linguaggio astratto ed efficace che facilita la formalizzazione e l'analisi di strutture dati e processi computazionali complessi.

I modelli

Per quanto riguarda il primo punto, il calcolo sequenziale si è sviluppato grazie a diversi modelli computazionali di natura anche molto diversa tra loro ma tutti con lo stesso potere espressivo, quali le Macchine di Turing, il Lambda Calcolo, le Random Access Machine. Eppure, nessuno di questi permette di catturare in maniera conveniente le problematiche di cui sopra, dove nuovi concetti quali l'interazione, l'asincronia, la comunicazione, le dipendenze causali si trovano a essere cittadini di prima classe.

Di conseguenza, molteplici modelli computazionali e strumenti linguistici (i cosiddetti linguaggi di specifica), ognuno con una vasta letteratura e campo di applicabilità, sono stati sviluppati per i sistemi concorrenti. Sfruttando le caratteristiche salienti di questi modelli è stato spesso possibile estendere in modo significativo i linguaggi di programmazione esistenti o progettarne di totalmente nuovi.

Tra i linguaggi di specifica troviamo le cosiddette algebre di processi CCS (Milner, 1989; Aceto et al., 2007), ACP (Baeten e Weijland, 1990), CSP (Hoare, 1985; Roscoe, 2010); i calcoli di processo (Milner, 1999; Sangiorgi e Walker, 2001); la rewriting logic (Clavel et al., 2007) e gli actor system (Agha, 1986).

Tra i modelli più rilevanti possiamo senz'altro citare le Message Sequence Chart (Rudolph, Graubmann e Grabowski, 1996); le Statechart (Harel, 1987); le Kahn process network (Kahn, 1974); le strutture di eventi (Winskel, 1986); i Causal Tree (Darondeau e Degano, 1990; Bruni, Montanari e Sammartino, 2015b); gli String Diagram (Selinger, 2011); i sistemi di trasformazione di grafi (H. Ehrig, K. Ehrig et al., 2006; H. Ehrig, Ermel et al., 2015; Heckel e Taentzer, 2020); e le reti di Petri (Petri, 1962; Reisig, 2013).

Ognuno di questi approcci presenta punti di forza e di debolezza.

Data la natura di questo volume, riteniamo che le reti di Petri forniscano un ottimo modello di riferimento per i lettori occasionali, perché uniscono una semplice e intuitiva rappresentazione grafica a una rigorosa teoria matematica. Essendo state introdotte all'inizio degli anni Sessanta, costituiscono un modello consolidato adottato da una vasta comunità scientifica, con notevoli influenze nello sviluppo di linguaggi di specifica standard, come UML che è stato ampiamente utilizzato per la progettazione, lo sviluppo e lo studio di sistemi reali anche in contesti multidisciplinari.

Inoltre, molte proprietà di interesse delle reti di Petri sono trattabili e supportate da strumenti software.

Anche se le reti di Petri sono presenti in molte varianti, di seguito faremo riferimento alla loro versione elementare che permette di rappresentare direttamente molti dei fenomeni elencati in precedenza senza introdurre troppe complicazioni.

L'algebra delle computazioni concorrenti

Per studiare le proprietà formali dei modelli computazionali è indispensabile disporre di una descrizione dello spazio delle computazioni. Correndo forse il rischio di banalizzare la dicotomia tra processi sequenziali e concorrenti, dal punto di vista matematico, la differenza può essere espressa dalla necessità di passare da modelli basati su ordinamenti totali degli eventi possibili, detti tracce – dove cioè ogni coppia di eventi di un processo è sempre eseguita nello stesso ordine – a modelli basati su ordinamenti parziali, dove l'ordine di certi eventi non è stabilito a priori.

In questo senso, una singola computazione concorrente, rappresentata come un ordinamento parziale, può essere interpretata come la classe di equivalenza di tutte le tracce compatibili con quell'ordinamento, dette *interleaving*. Si noti che il termine necessità non è stato usato a caso, poco sopra: la rappresentazione esplicita di tutte le possibili tracce genererebbe quasi sempre un'esplosione combinatoria dello spazio degli stati che renderebbe intrattabile qualsiasi tipo di analisi. Un'ulteriore sorgente di inadeguatezza dell'*interleaving* è dovuta al fatto che, in generale, non è possibile ricondurre la concorrenza al nondeterminismo: due eventi concorrenti non solo possono avvenire in qualsiasi ordine, ma anche contemporaneamente, concetto non esprimibile mediante una semantica *interleaving* per tracce.

Volendo trattare le computazioni concorrenti come classi di equivalenza di computazioni sequenziali nasce quindi la necessità di definire dei rappresentanti standard per queste classi di equivalenza e di poter discernere l'equivalenza tra computazioni sequenziali. Questo filone di ricerca ha condotto allo studio delle leggi algebriche che regolano queste equivalenze, evidenziando come la teoria delle categorie simmetriche monoidali possa fornire un utile strumento concettuale per la descrizione di sistemi concorrenti con caratteristiche diverse.

Informalmente, la struttura delle categorie simmetriche monoidali combina gli elementi essenziali delle computazioni concorrenti nel modo più naturale possibile: la struttura categoriale generalizza il concetto di composizione sequenziale delle computazioni; la struttura monoidale permette di comporre in maniera concorrente più computazioni sequenziali e la classe delle simmetrie cattura alcuni isomorfismi che sono presenti nelle diverse rappresentazioni possibili di uno stato concorrente come, ad esempio, le permutazioni di una stessa serie di oggetti. Inoltre, le leggi delle categorie monoidali possono essere derivate in modo automatico componendo la teoria algebrica delle categorie con quella dei monoidi imponendo la cosiddetta funtorialità: nel caso specifico, la legge fondamentale afferma che la composizione concorrente di due o più computazioni ciascuna composta da più passi, è equivalente alla composizione sequenziale dell'esecuzione concorrente dei singoli passi (vedi Fig. 1).

Come diretta istanza di questa equivalenza si ottiene anche la cosiddetta legge dei

diamanti, secondo la quale l'ordine col quale avvengono due attività concorrenti non è significativo (vedi Fig. 2).

Un ulteriore vantaggio della struttura delle categorie monoidali è dato dalla possibilità di disporre di una rappresentazione grafica in termini di scatole e fili che cattura precisamente le leggi della concorrenza: due diagrammi sono isomorfi se e solo se rappresentano la medesima computazione concorrente.

Da questo punto di vista, vedremo che il caso delle reti di Petri è emblematico perché permette di esprimere l'algebra delle computazioni concorrenti di ogni rete come una categoria liberamente generata a partire dalle singole operazioni presenti nella rete, ovvero le computazioni concorrenti di una rete di Petri sono isomorfe ai termini di una particolare algebra iniziale.

Equivalenza tra modelli e aspetti di composizionalità

Immaginando di associare a ciascun programma sequenziale una funzione di trasformazione dai possibili input ai corrispondenti output, un risultato rimarchevole della teoria della computazione è che tutti i principali modelli di calcolo sequenziale proposti separatamente sono equivalenti dal punto di vista dell'espressività: tutti catturano esattamente la stessa classe di funzioni rappresentabili, dette appunto funzioni computabili. Un'altra caratteristica fondamentale dei modelli sequenziali è che tutte le computazioni che non terminano sono identificate e sono tipicamente indesiderate.

Di fatto, abbiamo però visto che nessuno dei sistemi attualmente in uso, dal più piccolo chip all'intera rete di comunicazioni, è riconducibile a un singolo sistema puramente sequenziale perché ottenuto attraverso la composizione di attività separate spazialmente e anche logicamente. Un'altra differenza è che molti di questi sistemi non sono progettati per terminare; al contrario, è desiderabile che continuino a operare senza mai fermarsi come, ad esempio, un server cloud. In questi casi è impensabile ricondurre il loro comportamento in termini di funzione input/output calcolata.

Lo studio della concorrenza è foriero di un cambio di prospettiva, infatti, non è tanto importante stabilire una relazione input-output quanto rappresentare le possibili interazioni tra un processo e gli altri processi concorrenti, in termini di stimoli ricevuti e risposte a tali stimoli, tanto che si parla di "sistemi reattivi". Nasce, inoltre, la necessità di confrontare i comportamenti di modelli diversi dal punto di vista astratto, ad esempio, per sostituire un programma con una versione ottimizzata preservandone il comportamento, oppure con una versione aggiornata che fornisca nuova funzionalità mantenendo inalterate le precedenti.

Questa visione suggerisce un metodo semantico di tipo operativo per sistemi reattivi basato su sistemi di transizioni etichettati: i nodi del sistema rappresentano gli stati possibili e le transizioni tra stati sono etichettate con un termine che esprime le circostanze del mutamento di stato, ad esempio, lo stimolo ricevuto o la reazione prodotta. Chiaramente, questo tipo di semantica è molto concreta e identificare esclusivamente i processi che hanno esattamente lo stesso sistema di transizione – o anche sistemi di transizione isomorfi – porterebbe a distinguere troppo. Viceversa, considerare solo l'insieme delle tracce possibili (cioè delle sequenze di etichette che formano i possibili cammini sul sistema di transizioni visto come grafo) porterebbe a identificare processi

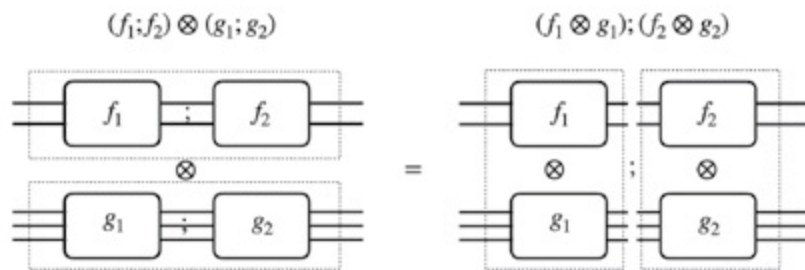


Fig.1 Funtorialità del monoide per la concorrenza.

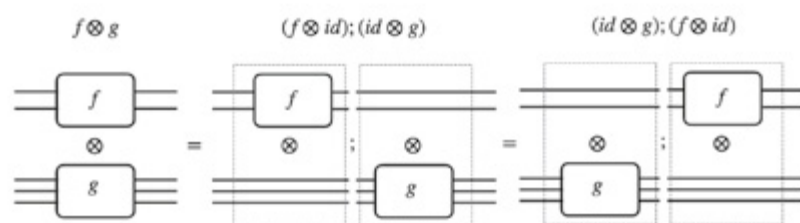


Fig. 2 La legge dei diamanti.

che si comportano in maniera ben diversa rispetto alle interazioni possibili, perché i punti di scelta non sarebbero ben rappresentati. Il classico esempio che evidenzia l' inadeguatezza della semantica per tracce nel caso di sistemi reattivi è il distributore di bevande che, inserita la moneta, sceglie autonomamente quale bevanda erogare e che sarebbe equivalente a quello che dopo aver inserito la moneta lascia la possibilità all'utente di scegliere la bevanda.

È in questo contesto che emerge un concetto completamente originale di equivalenza astratta, chiamato bisimulazione (Park, 1981; Milner, 1989; Sangiorgi, 2012; Sangiorgi e Rutten, 2012), che offre un trattamento adeguato delle interazioni possibili e ad oggi costituisce la nozione di riferimento per il confronto delle funzionalità per sistemi concorrenti. L'equivalenza per bisimulazione preserva tutte le proprietà logiche e permette di minimizzare i modelli prima di verificarne le proprietà, senza alcuna perdita di informazione. Dal punto di vista teorico, queste equivalenze sfruttano un approccio chiamato coalgebrico; mentre nell'approccio algebrico si assume un insieme di costruttori e di assiomi e l'algebra iniziale porta a distinguere due termini che non possono essere dimostrati come uguali attraverso gli assiomi, nell'approccio coalgebrico si assume la disponibilità di un insieme di esperimenti (distruttori) e la coalgebra finale porta a identificare tutti i sistemi che non possono essere distinti da una serie di esperimenti. In altri termini, l'equivalenza algebrica è la più piccola relazione di equivalenza che soddisfa certi assiomi, mentre l'equivalenza osservazionale, chiamata bisimilarità, è la più grande equivalenza che permette di distinguere tutti i sistemi che non soddisfano gli stessi esperimenti. È sorprendente come due concetti così diversi ma così simili risultino legati da una relazione di dualità.

Un requisito fondamentale per garantire la consistenza delle astrazioni è, quindi, che il modo di comporre i sistemi si comporti bene rispetto alla nozione di equivalenza, ovvero che l'algebra dei costruttori e la coalgebra degli esperimenti siano compatibili. Nel caso specifico, il requisito corrisponde a chiedere che la bisimilarità sia una congruenza.

In pratica, questa proprietà è fondamentale per consentire di condurre ogni tipo di analisi in modo composizionale, nel senso che lo studio del comportamento di un sistema complesso viene ricondotto allo studio dei comportamenti dei suoi componenti. Dato che i modelli dei componenti possono essere minimizzati separatamente, questo approccio può ridurre drasticamente la complessità dell'analisi.

La teoria delle bialgebre è nata per formalizzare questi presupposti (Turi e Plotkin, 1997; Klin, 2011). Usando un concetto elementare della teoria delle categorie, chiamato funtore, che indica un morfismo in grado di preservare certe strutture o operazioni definite su una classe di oggetti, la teoria delle bialgebre permette di esprimere la compatibilità tra il funtore associato all'algebra dei costruttori e quello associato alla coalgebra degli esperimenti mediante una legge di distributività molto compatta e completamente generale. Il caso emblematico è quello del CCS (Milner, 1989) per il quale tutti gli operatori dell'algebra di processi si comportano bene rispetto all'equivalenza per bisimilarità. Il medesimo approccio può però essere istanziato per gestire strutture più complesse che comprendano l'allocatione e gestione dinamica di nomi o di risorse. Nel caso delle reti di Petri vedremo che è possibile definire un particolare linguaggio di specifica per comporre reti mediante opportune interfacce, garantendo che componenti equivalenti possano essere sostituite senza alterare il comportamento del sistema.

Le reti di Petri

Le reti di Petri furono introdotte da Carl Adam Petri con l'intento di proporre un modello teorico per rappresentare e risolvere problemi legati alla tecnologia dei computer in modo del tutto indipendente dallo stato corrente della tecnologia ma nel rispetto delle leggi fisiche.

Una Rete di Petri è sostanzialmente un grafo (orientato) bipartito i cui nodi sono divisi nell'insieme dei posti (*places*) e nell'insieme delle transizioni (*transitions*). Il grafo è bipartito perché gli archi non possono collegare né posti con posti, né transizioni con transizioni.

I posti sono disegnati come dei cerchi e possono essere usati per rappresentare condizioni logiche, tipi di dato, locazioni di memoria, *buffer* di comunicazioni, classi di oggetti e più in generale, qualsiasi tipo di contenitore statico di risorse.

Le transizioni sono modellate da dei rettangoli e hanno un significato dinamico, in quanto vengono usate per rappresentare operazioni, trasformazioni e trasferimento di dati, attività da eseguire, decisioni da prendere e più in generale, qualsiasi tipo di manipolazione di risorse.

Le risorse sono rappresentate dai cosiddetti gettoni (*token*) che vengono distribuiti all'interno dei posti della rete e sono resi graficamente come pallini neri. Lo stato corrente della rete consiste appunto nella distribuzione attuale dei gettoni: per ogni posto si deve conoscere il numero di gettoni presenti.

Dal punto di vista matematico, lo stato della rete è un multi-insieme di posti, dove la molteplicità di ciascun posto è proprio il numero di gettoni contenuti da quel posto. Tali stati vengono chiamati marcature. Chiaramente, anche se una rete ha un insieme finito di posti, le marcature possibili sono infinite, a meno che l'insieme dei posti sia vuoto.

Ogni posto può avere più archi entranti e più archi uscenti: i primi rappresentano i diversi modi in cui una nuova risorsa può giungere in quel posto e i secondi, i diversi modi in cui una risorsa di quel posto può essere utilizzata. La differenza con gli automi classici è che anche ogni transizione può avere più archi entranti e più archi uscenti: i primi rappresentano l'insieme di risorse necessarie alla transizione per essere eseguita e che essa consuma, i secondi rappresentano le risorse che vengono prodotte quando la transizione viene eseguita.

Nel caso delle reti di Petri lo spazio degli stati raggiungibili dalla marcatura iniziale è descritto dal suo grafo di raggiungibilità o grafo dei casi: i nodi sono marcature e gli archi sono etichettati con singole transizioni la cui esecuzione permette di passare dallo stato sorgente dell'arco allo stato destinatario. I cammini sul grafo descrivono le possibili computazioni sequenziali.

La rete è detta *bounded* se il grafo di raggiungibilità contiene un numero finito di stati, ovvero se il numero di gettoni nei posti della rete è limitato superiormente e *unbounded*, altrimenti. A causa della concorrenza, il numero di stati raggiungibili in una rete *bounded* può crescere esponenzialmente con la dimensione della rete.

Un aspetto interessante delle reti è il bilanciamento tra l'abilità di rappresentare in modo compatto e intuitivo sistemi concorrenti e la possibilità di verificare in modo automatico molte proprietà di interesse, la cui decidibilità è garantita anche nel caso di reti (finite ma) *unbounded*, pur se con un costo computazionale oneroso nel caso generale.

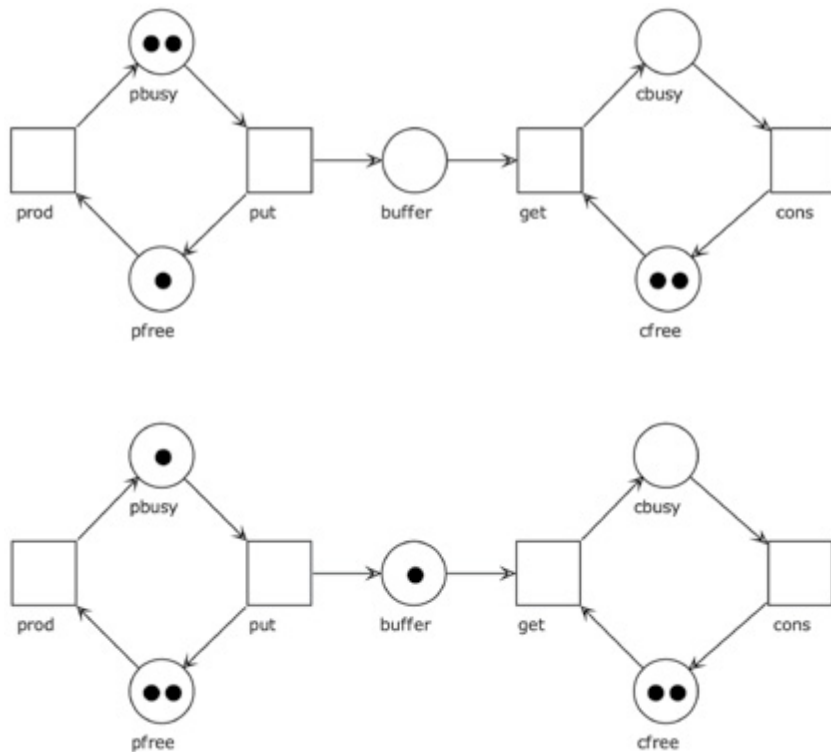


Fig. 3 La rete per il sistema con tre produttori e due consumatori, prima e dopo l'esecuzione della transizione put.

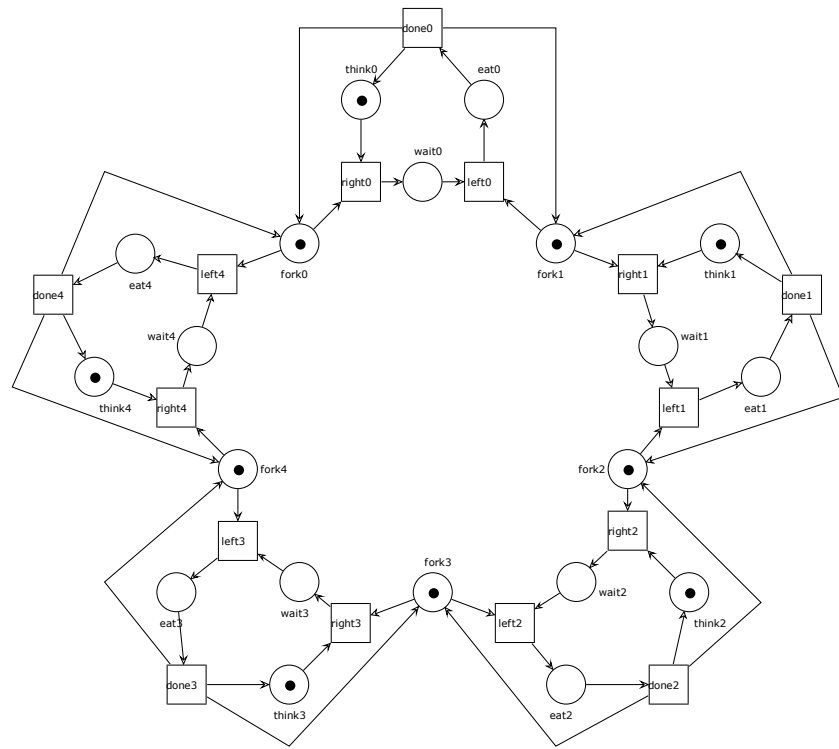
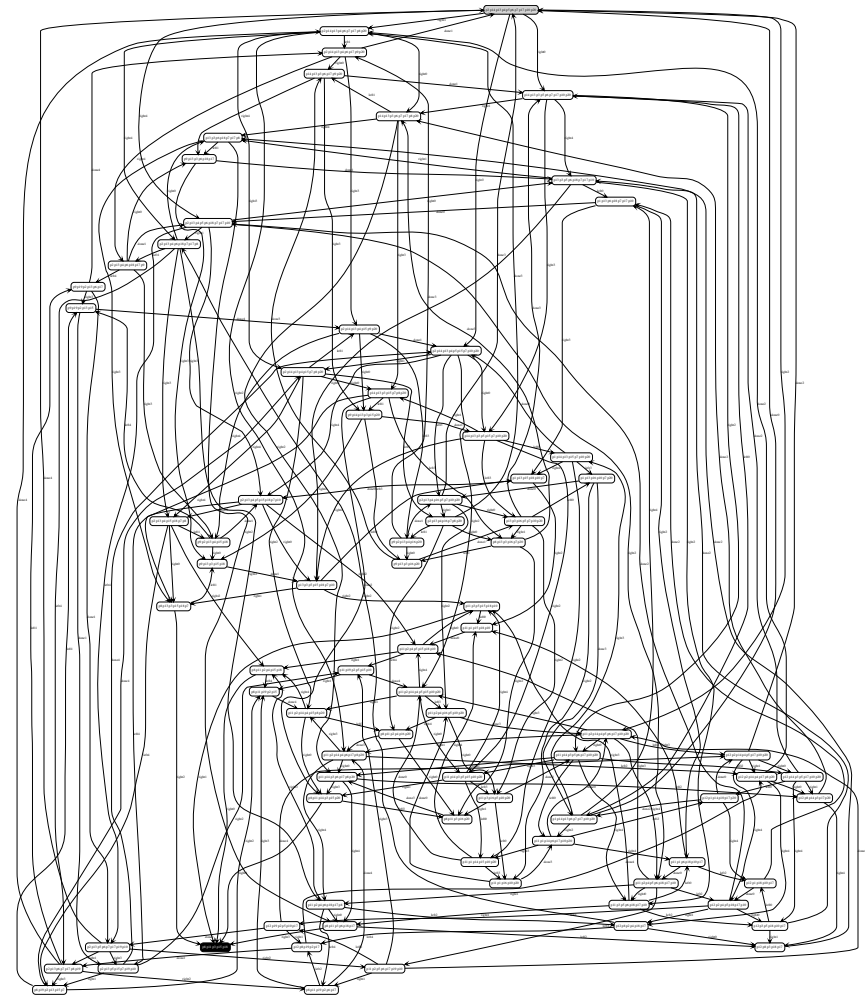


Fig. 4 Una soluzione al problema dei 5 filosofi, con deadlock possibile: la rete e il suo grafo di raggiungibilità (82 nodi, 65 archi).



Esempi

In questa sezione presentiamo alcuni esempi e applicazioni che mostrano la versatilità e la convenienza d'uso delle reti di Petri nello studio dei sistemi concorrenti.

Produttori e consumatori

La rete in Fig. 3 (in alto) modella un sistema composto da tre produttori e due consumatori che si scambiano le risorse in modo asincrono mediante un **buffer** di comunicazione.

Il posto **pbusy** contiene i produttori che stanno lavorando per produrre una nuova risorsa nel **buffer**. Una risorsa viene prodotta nel **buffer** eseguendo la transizione **put** che sposta contemporaneamente un produttore dallo stato **pbusy** allo stato **pfree**, per indicare che si sta riposando. Il produttore potrà poi usare la transizione **prod** per tornare operativo. Analogamente, anche un consumatore può trovarsi in due stati: **cbusy** mentre sta elaborando una risorsa dopo averla prelevata dal **buffer** e **cfree** quando si sta riposando. Per passare da **cfree** a **cbusy** mediante la transizione **get** un consumatore ha però la necessità che il **buffer** contenga almeno una risorsa.

Una marcatura può abilitare più azioni contemporaneamente, ma a differenza degli automi classici tali azioni non sono necessariamente esclusive. Nell'esempio in Fig. 3, **prod** e **put** sono le uniche transizioni abilitate, ma l'esecuzione dell'una lascia l'altra ancora eseguibile e se vengono eseguite entrambe l'ordine di esecuzione non è importante, perché si tratta di eventi concorrenti. In gergo si dice che l'esecuzione di **prod** seguita da **put** e quella di **put** seguita da **prod** formano un “diamante”. Inoltre, dato che **pbusy** contiene due gettoni, la transizione **put** è doppiamente abilitata e un singolo passo concorrente della rete potrebbe, quindi, comprendere un'istanza di **prod** e due di **put**.

Supponendo di eseguire **put**, la rete si sposta nello stato in Fig. 3 in basso: adesso anche **get** è abilitata, perché il **buffer** contiene una risorsa e ci sono due consumatori liberi, però solo un'istanza di **get** è eseguibile perché c'è una sola risorsa nel **buffer**.

Infine, usiamo questo esempio per evidenziare che il grafo di raggiungibilità di una rete non è necessariamente finito, infatti, se il ritmo tenuto dai produttori fosse superiore a quello dei consumatori, le risorse si accumulerebbero indefinitamente nel **buffer**.

Il problema dei cinque filosofi

Il “problema dei filosofi a cena” – altrimenti noto come “problema dei cinque filosofi” – è un classico esempio che illustra diversi fenomeni presenti nelle interazioni fra processi paralleli. Proposto inizialmente da Edsger Dijkstra come un esercizio d'esame – come raccontato in (Dijkstra, 1987) – è qui descritto seguendo la formulazione resa in seguito popolare da Hoare (1985).

Cinque filosofi siedono a una tavola rotonda, ciascuno con un piatto di spaghetti davanti e una bacchetta a sinistra. Ogni filosofo alterna le attività di mangiare e pensare, ma ha bisogno di due bacchette per mangiare. Dopo aver mangiato, le bacchette vengono nuovamente disposte sul tavolo al loro posto. Il problema è di sviluppare un algoritmo che impedisca sia il *deadlock* che la *starvation*. Il primo si verifica se ciascuno dei filosofi tiene in mano una bacchetta senza mai riuscire a prendere l'altra.

Il secondo qualora uno dei filosofi non abbia mai la possibilità di prendere entrambe le bacchette.

La prima soluzione, in Fig. 4 a sinistra, è perfettamente simmetrica: ciascun filosofo cerca di prendere la bacchetta alla propria destra e poi, se vi riesce, quella a sinistra. Per semplicità assumiamo che i filosofi siano numerati da 0 a 4 e ugualmente per le bacchette. La mutua esclusione viene realizzata ponendo un solo gettone nei posti relativi alle bacchette: il gettone può essere prelevato dal filosofo che siede a sinistra della bacchetta o da quello a destra, ma non da entrambi. Chiaramente si verifica un *deadlock* quando tutti i filosofi prendono la bacchetta alla loro destra in modo concorrente, prima che uno di essi possa prendere quella alla sua sinistra.

Il corrispondente grafo di raggiungibilità, in Fig. 4 a destra, evidenzia questa situazione mostrando in grigio chiaro lo stato iniziale (quello al centro in cima al grafo) e in basso il nero, l'unico stato di *deadlock*, senza archi uscenti.

Il grafo viene mostrato a titolo esemplificativo, solo per evidenziare come modelli semplici possano generare comportamenti complessi e non per essere ispezionato.

Nella seconda soluzione, in Fig. 5 a sinistra, si assume che ciascun filosofo cerchi di prendere per prima la bacchetta col numero più basso. Sostanzialmente l'unica differenza rispetto alla soluzione in Fig. 4 è che il filosofo numero 4 cerca sempre di prendere prima la bacchetta numero 0, quella alla sua sinistra, invece della numero 4, alla sua destra. In questo caso il *deadlock* non può più verificarsi.

Il corrispondente grafo di raggiungibilità, in Fig. 5 a destra, evidenzia questa situazione mostrando che da tutte le marcate esce almeno un arco.

Infine, una terza soluzione, mostrata nella Fig. 6, a sinistra, sfrutta la possibilità di usare transizioni con un numero arbitrario di archi entranti per fare in modo che ciascun filosofo prelevi le due bacchette contemporaneamente (azione sincronizzata) per produrre un sistema molto più semplice da analizzare.

Il corrispondente grafo di raggiungibilità in Fig. 6, a destra, evidenzia ancora una volta l'assenza di *deadlock*. Con una rapida ispezione possiamo anche verificare che, in ogni momento, al più due filosofi possono mangiare contemporaneamente e che il fenomeno della *starvation* può accadere se ad esempio dopo **get0** vengono ripetute consecutivamente le transizioni **get2 done2 get3 done0 get1 done1 get0 done3...**

In questo caso, in tutti gli stati attraversati dalla computazione, eccetto quello iniziale, il filosofo numero 4 non avrà mai la possibilità di eseguire la transizione **get4**. Per facilitare la visualizzazione, gli stati attraversati dal ciclo sono colorati in grigio scuro col testo in bianco.

Analisi di processi di business

Le reti di Petri hanno trovato applicazione in diversi settori aziendali, dall'analisi dei processi di produzione alla gestione logistica, dall'ottimizzazione dei processi di vendita alla progettazione di servizi. L'obiettivo è quello di individuare inefficienze e aree di miglioramento, consentendo di ottimizzare i processi.

L'impiego delle reti nell'analisi dei processi aziendali è dovuto alla loro capacità di modellare e visualizzare interazioni complesse tra diverse attività e risorse coinvolte. Posti e transizioni consentono di mappare le fasi, le attività e le risorse coinvolte nel flusso

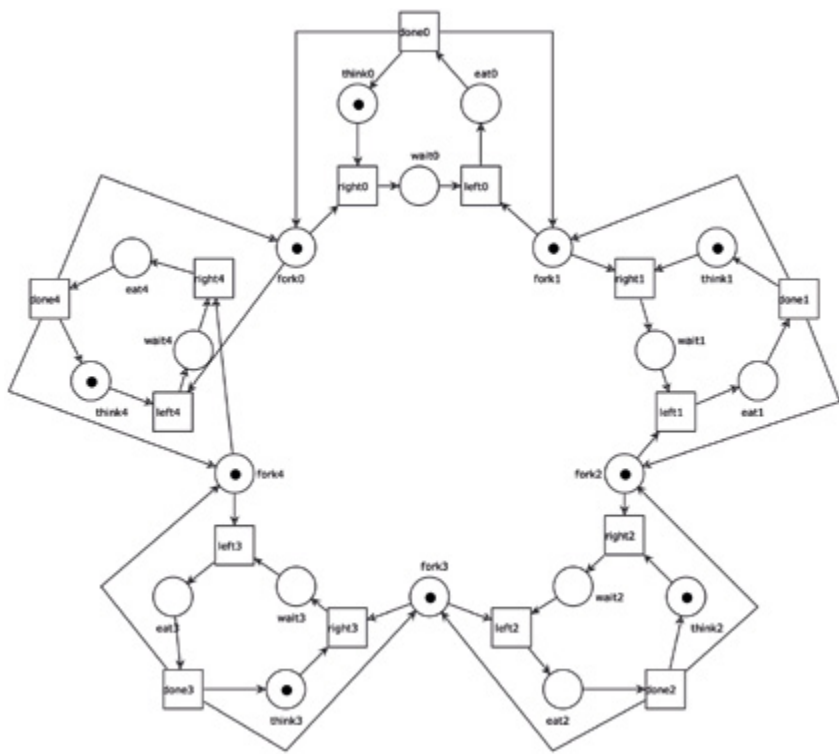
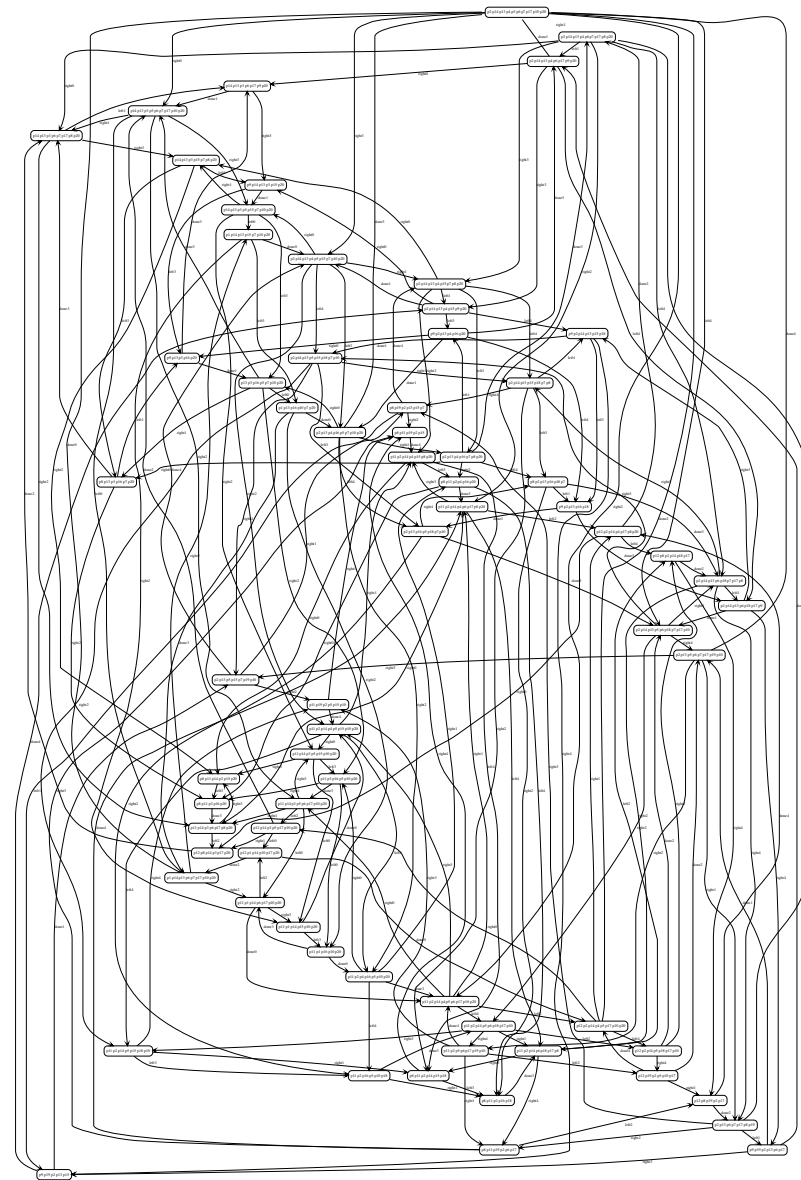


Fig. 5 Una soluzione al problema dei 5 filosofi, senza deadlock: la rete e il suo grafo di raggiungibilità (70 nodi, 219 archi).



di lavoro: i gettoni nei posti rappresentano lo stato del sistema, mentre le transizioni denotano i cambiamenti di stato causati da eventi specifici.

Dato che ogni processo coinvolge tipicamente più risorse che collaborano in maniera concorrente, le reti di Petri sono più indicate rispetto a modelli sequenziali. I modelli basati sulle reti permettono di eseguire simulazioni e verifiche formali per identificare potenziali problemi come *deadlock*, conflitti di risorse o colli di bottiglia nel flusso di lavoro. Essi permettono anche di eseguire simulazioni per esplorare scenari alternativi, effettuare il test di nuove strategie, ridisegnare flussi di lavoro o implementare modifiche e valutarne l'impatto all'interno dei processi aziendali senza influire direttamente sulle operazioni effettive. I principali testi di riferimento per l'utilizzo delle reti di Petri in questo ambito sono quelli di Aalst e Hee (2002), Aalst e Stahl (2011), Kunze e Weske (2016), Aalst (2016) e Weske (2019).

Un aspetto fondamentale nell'applicazione delle reti di Petri all'analisi dei processi aziendali risiede nella capacità di trasformare i diagrammi di flusso scritti in notazioni standard come BPMN ed EPC in una forma analizzabile, nota come Workflow Net.

Le Workflow Net sono reti di Petri che soddisfano semplici requisiti strutturali, come la presenza di un unico posto senza archi entranti (inizio del processo) e di un unico posto senza archi uscenti (fine del processo).

In sintesi, il Business Process Model and Notation (BPMN) (Dumas et al., 2018) è un linguaggio diagrammatico che fornisce una rappresentazione immediata, dettagliata e comprensibile delle attività e delle interazioni all'interno di una stessa organizzazione o persino delle collaborazioni tra processi interaziendali. Grazie alla sua natura visuale, BPMN può documentare i processi aziendali in modo efficace, facilitando la comunicazione tra gli stakeholder.

Analogamente, l'Event-driven Process Chain EPC (EPC) è un altro linguaggio visuale per i processi aziendali che si concentra sulla rappresentazione sequenziale degli eventi che guidano i processi utilizzando simboli chiari e intuitivi per rappresentare eventi, funzioni, processi e flussi di controllo (Scheer, 2000). Rispetto a BPMN, EPC è più semplice, intuitivo e minimale, ma meno adatto per rappresentare i diagrammi di collaborazione e le interazioni tra processi.

La trasformazione di diagrammi standard come BPMN ed EPC in Workflow Net consente di tradurre rigorosamente le relazioni tra attività, eventi, rimuovendo eventuali ambiguità. Una volta tradotti in Workflow Net, i diagrammi diventano oggetto di un'ampia gamma di analisi supportate dalla teoria delle reti di Petri. È possibile eseguire simulazioni, verifiche di proprietà (come l'assenza di *deadlock*, l'assenza di situazioni di conflitto, conformità a determinate specifiche) e valutare le prestazioni del processo.

A livello del tutto esemplificativo, la Fig. 7 mostra un diagramma BPMN di collaborazione che descrive il processo di sviluppo di una tesi di laurea come interazione tra lo studente e il supervisore. Attraverso un processo automatico di traduzione il processo può essere trasformato nella workflow net in Fig. 8 che può essere analizzata con opportuni strumenti software per certificare che la collaborazione possa sempre concludersi in modo corretto.

Applicazioni industriali

Le reti di Petri sono state utilizzate con successo in molti campi, per modellare e analizzare molti tipi di sistemi concorrenti di ambito informatico, ingegneristico e persino biologico.

Qui menzioniamo alcuni contributi notevoli.

- **Progettazione hardware e circuiti asincroni**
Il campo della progettazione hardware ha costituito un terreno fertile per la ricerca nella concorrenza e nelle reti di Petri. Un esempio è il lavoro seminale su computer paralleli, strutture asincrone e reti di Petri svolto al MIT negli anni Settanta, che coinvolgeva J.B. Dennis, F. Furtek, M. Hack, J.R. Jump, D. Misunas, S. Patil, P.S. Thiagarajan e altri. Successivamente, negli anni Novanta, nell'ambito della comunità per Design Automation, i Signal Transition Graph e alcuni pacchetti software come Petrify hanno reso le reti di Petri uno strumento pratico per la sintesi e generazione di circuiti VLSI. Un ottimo testo di riferimento su questo argomento è quello di Yakovlev, Gomes e Lavagno (2000).
- **Reti di comunicazione**
Ogni rete di telecomunicazione è intrinsecamente distribuita e permette di far cooperare componenti eterogenee in modo concorrente. Le reti di Petri offrono, quindi, il tessuto matematico naturale per la specifica, la progettazione, l'analisi e la verifica di questi sistemi e dei protocolli di comunicazione che ne regolano il funzionamento, tanto che il primo esempio in questo ambito può essere fatto risalire al lavoro di Merlin del 1974.
Negli anni più recenti, le reti hanno consentito di studiare i protocolli TCP, di routing dinamico in Mobile Ad Hoc Network (MANETs), per comunicazioni wireless, fino all'Internet Open Trading Protocol (IOTP) uno standard per il commercio elettronico su Internet. I principali testi di riferimento in questo ambito sono quelli di Billington, Diaz e Rozenberg (1999) e di H. Ehrig, Reisig et al. (2003).
- **Ingegneria del software**
Nell'ambito dell'ingegneria del software, le reti di Petri hanno esercitato un'influenza significativa nello sviluppo dei diagrammi di attività all'interno della notazione Unified Modeling Language (UML). La notazione UML è un linguaggio visuale e standardizzato che consente agli sviluppatori, agli analisti e agli stakeholder di comunicare, progettare e comprendere i sistemi software in modo efficace attraverso diagrammi e rappresentazioni visive (Rumbaugh, Jacobson e Booch, 2004). UML offre un insieme di simboli grafici e regole per la creazione di modelli visivi che rappresentano diversi aspetti di un sistema, come le sue funzionalità, la struttura, il comportamento e le interazioni. Questi modelli aiutano a descrivere, analizzare, progettare e documentare i sistemi software in modo chiaro e accurato. I cosiddetti diagrammi di attività UML illustrano il flusso del comportamento e delle attività all'interno del sistema, evidenziando l'ordine temporale delle azioni e delle interazioni tra gli oggetti. Le reti di Petri, con la loro capacità di descrivere simultaneità, sequenze e scelte, hanno influenzato in maniera decisiva la notazione UML, in particolare per quanto riguarda gli elementi che consentono di rappresentare parallelismo, scelte e cicli.

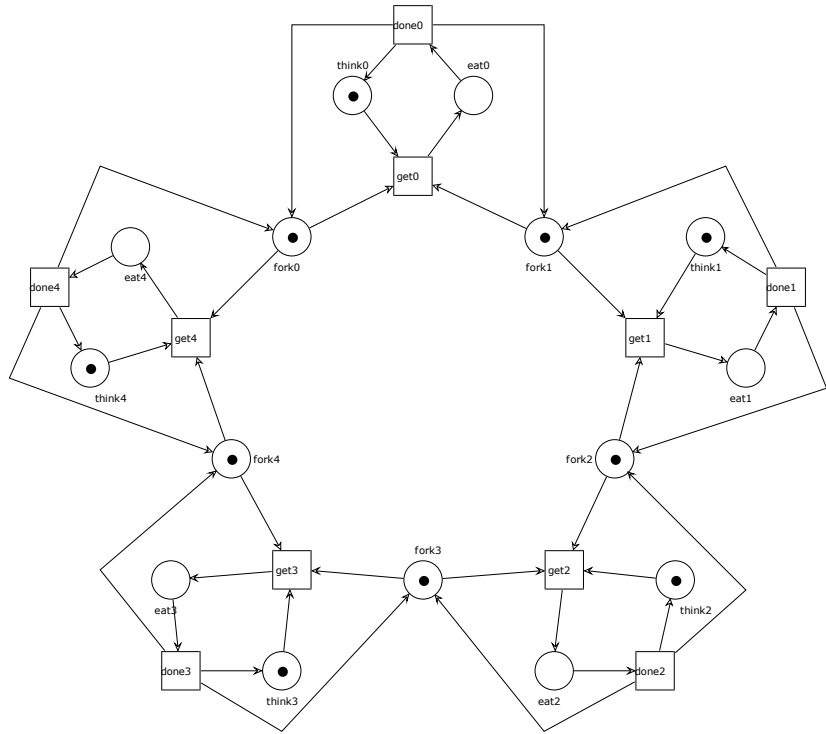
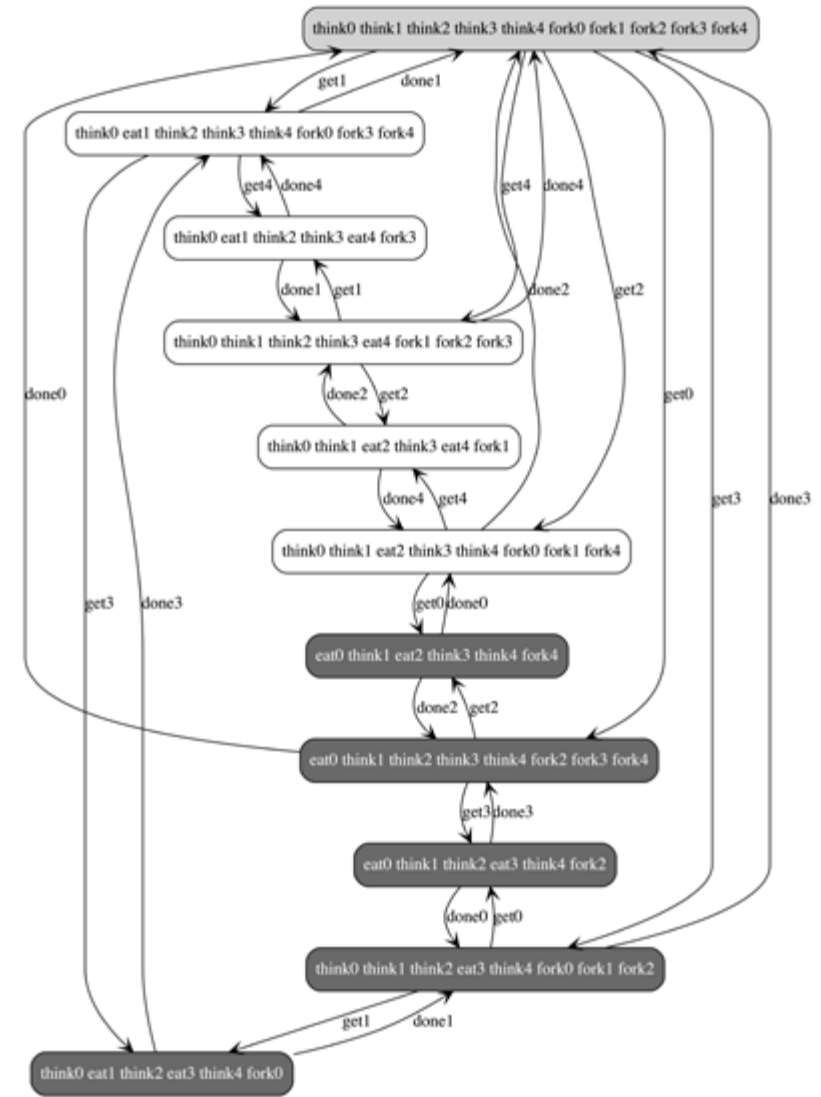


Fig. 6 Una soluzione compatta al problema dei 5 filosofi: la rete e il suo grafo di raggiungibilità (11 nodi, 30 archi).



Più recentemente, nell'ambito delle piattaforme per il cloud di colossi come Amazon, Google, Microsoft, IBM e Oracle, il paradigma Function as a Service (FaaS) permette di programmare servizi on-demand ottenuti assemblando funzioni *stateless* in maniera concorrente e distribuita semplicemente progettando workflow concorrenti basati sui principi delle reti di Petri.

Per un elenco più esteso e aggiornato di applicazioni su sistemi di larga scala invitiamo il lettore a consultare il sito <https://cs.au.dk/cpnets/industrial-use/>.

La struttura algebrica della concorrenza

Per introdurre il concetto di computazione non sequenziale consideriamo l'esempio con un singolo produttore e un singolo consumatore, in Fig. 9, in alto e dove il sistema è reso *bounded* introducendo il posto aggiuntivo *slots* per rappresentare il numero di posizioni disponibili nel buffer. Il grafo di raggiungibilità è quindi finito e rappresentato in Fig. 9, in basso.

Dalla rete è evidente che il sistema è sostanzialmente deterministico perché ogni gettone può essere utilizzato in un solo modo, eppure il grafo di raggiungibilità presenta diversi punti di scelta. In realtà, questi formano solo dei diamanti causati dall'*interleaving* di attività concorrenti che sono destinati a richiudersi. L'esempio è emblematico perché se, da una parte, l'intuizione suggerisce l'esistenza di una sola computazione concorrente massimale (di fatto infinita), lo spazio delle computazioni comprende un numero illimitato di computazioni sequenziali diverse che differiscono per l'ordine col quale sono eseguiti gli eventi concorrenti.

L'idea fondamentale di Petri (1977), ripresa ed estesa da Goltz e Reisig (1983), è quella di rappresentare le stesse computazioni concorrenti, chiamate processi non sequenziali, come dei tipi particolari di reti acicliche, chiamate reti di occorrenze o reti causali.

Un esempio di processo non sequenziale per la rete in Fig. 9 è mostrato in Fig. 10: intuitivamente, ciascun posto del processo rappresenta un singolo gettone della rete e ciascuna transizione del processo il verificarsi di una singola attività, cioè dell'esecuzione di una singola transizione della rete. La struttura stessa di grafo aciclico del processo stabilisce un ordine parziale tra gli eventi e l'insieme di tutte le possibili linearizzazioni degli eventi del processo costituisce la classe di equivalenza delle corrispondenti esecuzioni sequenziali.

Questa definizione aderisce alla filosofia *individual token*, secondo la quale si è portati a distinguere l'identità di ciascun gettone. Visto che le marcature sono multinsiemi, un'altra filosofia possibile è quella *collective*, dove i gettoni nello stesso posto vengono confusi: i processi definiti da Best e Devillers (1987) seguono la filosofia *collective*, astrando dall'identità dei singoli gettoni presenti nello stesso posto.

La struttura algebrica dei processi non sequenziali è stata studiata a partire dal lavoro seminale di Meseguer e Montanari (1990) nel quale si evidenziano due dimensioni per comporre processi: quella categoriale, che fornisce il modo naturale di comporre processi in sequenza, e quella monoidale per comporli in parallelo. Inoltre, sfruttando come generatori di computazioni elementari i nomi dei posti per rappresentare un get-

tone inattivo, i nomi delle transizioni per rappresentare un evento atomico, e i due tipi di composizione menzionati, si ottiene un linguaggio per descrivere tutte e sole le computazioni concorrenti della rete. Le simmetrie permettono, infine di passare dal caso *collective* a quello *individual*, il cui trattamento richiede qualche accorgimento addizionale (Meseguer, Montanari e Sassone, 1997; Bruni, Meseguer et al., 2001). Il vantaggio significativo è che tutte le leggi di equivalenza tra termini diversi vengono catturate in modo esemplare da quelle delle categorie monoidali.

Riprendendo l'esempio in Fig. 10, assumendo per praticità che l'operazione monoidale \otimes abbia precedenza su quella sequenziale, possiamo descrivere la stessa computazione concorrente mediante il termine che compare a destra nella figura.

Questa stessa idea è il seme di un approccio più generale che trasferisce la struttura algebrica degli stati di un sistema di riscrittura – quella monoidale, nel caso delle reti di Petri – al livello della categoria delle computazioni per catturare in modo automatico le classi di equivalenza delle computazioni che differiscono solo per l'ordine col quale vengono eseguite riscritture tra loro indipendenti (Meseguer, 1992). La teoria delle categorie gioca un ruolo importante anche nel garantire l'unicità di queste costruzioni, nel senso di algebra iniziale. Da un certo punto di vista, i risultati raggiunti testimoniano che le reti di Petri offrono la segnatura ideale per presentare finitamente le categorie monoidali.

Diversamente dall'esempio specifico in Fig. 9, in generale, una singola rete ammette molti processi non sequenziali, ciascuno dei quali corrisponde sostanzialmente a risolvere un conflitto tra transizioni che concorrono per l'uso di uno stesso gettone. Per poter raccogliere tutti i processi in un singolo oggetto matematico, Nielsen, Plotkin e Winskel (1981) hanno introdotto la nozione di *unfolding*.

Nel caso di sistemi di transizione ordinari, l'*unfolding* è semplicemente un albero che può essere descritto come il limite di una costruzione: partendo dallo stato iniziale si estende la struttura in modo iterativo aggiungendo un nuovo arco verso un nuovo nodo ogni volta che esiste una transizione abilitata da un nodo già presente (e che non sia già stata considerata). La corrispondenza tra le due strutture è definita da un morfismo tra grafi che mappa gli elementi dell'albero su quelli del sistema di transizione. Il concetto di limite è necessario, perché in presenza di cicli l'albero di *unfolding* deve poter rappresentare tutte le approssimazioni finite e può divenire un oggetto di dimensione non finita.

Nel caso delle reti di Petri, la struttura di albero è generalizzata dal concetto di *unfolding* che raccoglie tutte le computazioni concorrenti di una rete in un'unica struttura che è, essa stessa, una rete aciclica (in molti casi infinita). Ogni coppia di elementi dell'*unfolding* è legata in modo esclusivo da una relazione di causalità (un evento precede un altro), di conflitto (i due eventi non possono verificarsi nella stessa esecuzione) o di concorrenza (tutti gli altri casi). Quest'osservazione è stata d'ispirazione per la definizione della teoria delle strutture di eventi di Winskel (1986) e per definire una catena di aggiunzioni tra la categoria delle reti e quella dei domini algebrici primi, che ne costituiscono il naturale dominio semantico di interpretazione. Vogliamo qui sottolineare che la caratterizzazione dell'*unfolding* come aggiunto destro permette di rappresentare una costruzione universale che si applica sia a sistemi sequenziali che concorrenti.

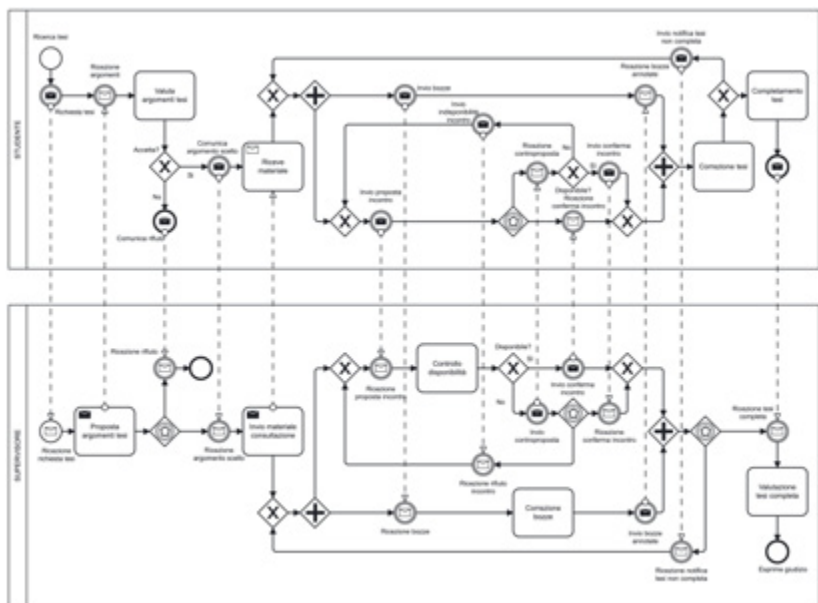


Fig. 7 Il diagramma di collaborazione BPMN per la stesura di una tesi di laurea.

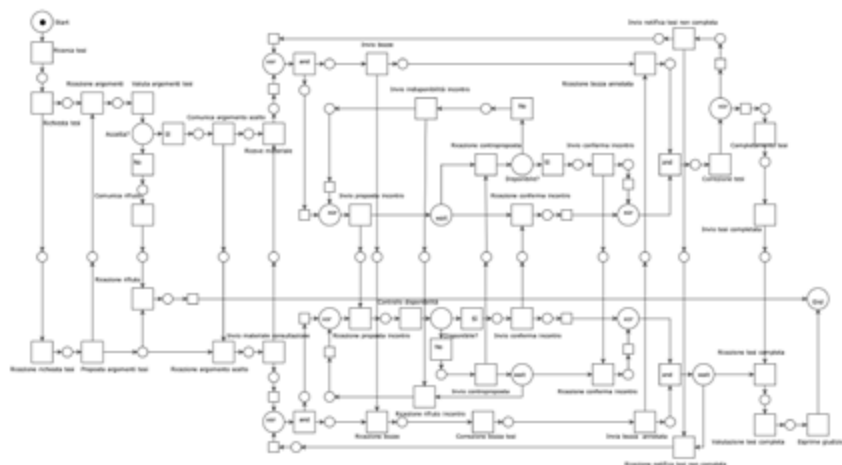


Fig. 8 La Workflow Net generata a partire dal diagramma BPMN in Fig. 7.

Dal punto di vista pratico, grazie alla possibilità di limitare l'esplosione combinatoria degli eventi sfruttando la relazione di concorrenza, il concetto di *unfolding* è stato sfruttato per trattare efficacemente molti problemi di verifica, inclusi la ricerca di *deadlock*, lo studio di raggiungibilità di una determinata marcatura o di eseguibilità di una certa transizione, e il *model checking*. In particolare, McMillan (1992) ha mostrato che molte proprietà di interesse possono essere verificate troncando opportunamente la costruzione dell'*unfolding*. A sostegno della tesi che le soluzioni pratiche a problemi difficili non possono prescindere da solide basi fondazionali, questi studi hanno condotto allo sviluppo di strumenti che pur esaminando soltanto una parte finita dell'*unfolding*, esponenzialmente più concisa rispetto alla corrispondente struttura sequenziale, sono in grado di risolvere in maniera esatta molti quesiti di verifica (McMillan, 1993; Esparza e Heljanko, 2008).

La struttura dell'*unfolding* ha anche il vantaggio di rappresentare le scelte che possono avvenire durante la computazione in maniera completamente distribuita, nel senso che scelte indipendenti possono essere identificate in maniera strutturale attraverso il concetto di *branching cell*. Sfruttando le operazioni di composizione sequenziale e parallela descritte in precedenza, un modo intuitivo di definire le *branching cell* è quello che le identifica come tutti e soli i frammenti di rete che non possono essere decomposti ulteriormente. La teoria delle categorie monoidali, assieme alla decomposizione in *branching cell*, permette di applicare le tecniche di analisi bayesiana alle reti per le quali le scelte siano regolate da distribuzioni probabilistiche, invece di essere considerate puramente nondeterministiche (Bruni, Melgratti, e Montanari, 2019; Bruni, Melgratti, e Montanari, 2020).

Modularità

Sintassi e semantica sono i due pilastri che reggono qualsiasi trattamento formale di sistemi complessi.

La sintassi serve a fissare il linguaggio che ci permette di definire la classe dei sistemi che possiamo studiare, costruire nuovi sistemi componendo quelli già disponibili e affrontare un problema complesso progettandone le componenti separatamente.

La semantica serve per assegnare un significato a ciascun sistema, in termini dei comportamenti possibili e derivare nozioni di equivalenza tra essi. Per poter confrontare sistemi diversi abbiamo bisogno che gli oggetti matematici che ne descrivono il comportamento siano trattabili. Quando più termini hanno lo stesso significato possiamo usare dei criteri per scegliere quale sia più conveniente, ad esempio, in termini di efficienza, leggibilità, manutenzione o facilità di analisi. La proprietà di composizionalità serve a garantire che all'interno di ogni espressione sia sempre possibile sostituire uno o più termini con altri equivalenti preservando il significato dell'espressione. Da Parnas (1972) in poi, l'importanza della composizionalità per lo sviluppo del software è stata ampiamente riconosciuta e sfruttata sia per favorire il riutilizzo di codice, che per progettare metodologie di programmazione come quella orientata agli oggetti, che per ideare nuove tecniche di ingegneria del software come lo sviluppo di applicazioni basato su componenti.

Nel caso di modelli set-teoretici, come le reti di Petri, la questione di come si compongano le reti non ha una risposta univoca, tanto che la letteratura è ricca di proposte spesso basate su interfacce costituite da posti, transizioni o entrambi e mirate a circoscrivere opportune classi di reti che garantiscano importanti proprietà dal punto di vista del comportamento.

Tra le diverse nozioni di composizione apparse in letteratura, possiamo citare gli approcci di Nielsen, Priese, e Sassone (1995), di Best, Devillers, e Koutny (2002) e Best, Devillers, e Koutny (2001) basati sull'algebra delle Petri box; di Baldan et al. (2008) basati sulle Open Net; di Reisig (2018) e Reisig (2019) basati sulle reti con interfaccia o di Katis, Sabadini, e Walters (1997) basati sulla bicategoria di Span(Graph). Il recente libro di Gorrieri (2017) raccoglie opportune algebre di processo in grado di rappresentare specifiche classi di reti di Petri.

Qui esaminiamo più in dettaglio la proposta di Sobocinski (2010) e Bruni, Melgratti, Montanari, e Sobocinski (2013) che sfrutta un'estensione delle reti ordinarie, chiamate "net with boundary" con due interfacce, sinistra e destra. Le interfacce sono sequenze finite di porte numerate progressivamente e collegate a transizioni della rete mediante archi non orientati. La distinzione tra interfaccia sinistra e destra è utile per comporre più reti in sequenza, ma non è legata alla distinzione tra input e output. Intuitivamente, una transizione attaccata a una porta è come se fosse un frammento di un'azione *multiparty* che necessita di essere completato interagendo con altri frammenti collegati alla porta. Le net with boundary si prestano bene per essere composte in serie e in parallelo ed è stato dimostrato che le net with boundary finite sono generabili a partire da un'algebra di connettori elementari senza stato (identità, simmetrie, sync, mutex, hide e noact) insieme a un componente a due stati (*place*). In questo senso si può sostenere che le net with boundary offrono il più semplice modello che tiene conto di distribuzione, concorrenza e non determinismo.

Le Figg. 11 e 12 mostrano alcune semplici componenti e come questi possano essere composti per ottenere la rete di Fig. 9.

La stessa varietà di proposte disponibili in letteratura riguarda anche la nozione di comportamento da assumere come riferimento. Partendo dalla visione operativa e reattiva dei modelli concorrenti, la nozione di bisimulazione induce un'equivalenza particolarmente efficace.

Il modo più intuitivo di definire la bisimulazione è forse quello di presentarla come una strategia di gioco tra un attaccante e un difensore. Dati due modelli operazionali, l'attaccante vuole mostrare che esibiscono comportamenti diversi, mentre il difensore vuole mostrare che sono equivalenti dal punto di vista comportamentale. Partendo dalla configurazione iniziale dei due modelli, il gioco è basato su un numero imprecisato di turni. A ogni turno di gioco l'attaccante sceglie liberamente un modello e una mossa dallo stato corrente di quel modello e il difensore deve rispondere scegliendo una mossa corrispondente per l'altro modello. Gli stati raggiunti con tali mosse saranno gli stati correnti del turno successivo. L'attaccante vince quando sceglie una mossa che il difensore non è in grado di simulare. Il difensore vince se l'attaccante non ha mosse a disposizione o se il gioco non termina (ad esempio, se si visita una configurazione già attraversata). Una bisimulazione è un qualsiasi insieme di coppie di stati che definisca

una strategia vincente per il difensore, ovvero che indichi quale stato raggiungere per ogni mossa dell'attaccante. La bisimilarità è la più grande di queste strategie, ottenibile come unione di tutte le bisimulazioni: se la configurazione di partenza non è contenuta nella bisimilarità significa che l'attaccante ha sempre a disposizione una strategia vincente indipendentemente dalle mosse che il difensore potrà fare, ovvero che i modelli non sono equivalenti.

Nel caso di sistemi concorrenti, e più specificatamente delle reti di Petri, la bisimulazione può essere opportunamente ristretta in modo da preservare alcune caratteristiche concorrenti del modello, come la distribuzione dei gettoni o l'insieme di cause durante l'esecuzione, dando luogo a diverse versioni di equivalenza come, ad esempio, la *step bisimilarity*, l'*history preserving bisimilarity* o la *hereditary history preserving bisimilarity*; vedere Glabbeek e Goltz (2001) per un'ampia panoramica.

Nel caso delle net with boundary, essendo le interfacce di composizione costituite da sequenze di porte sulle quali sono osservabili le azioni svolte da ciascun componente, la nozione di riferimento è simile alla *step bisimilarity*: per ciascuna mossa si osserva quali interazioni sono richieste a livello delle interfacce sinistra e destra per compierla. Dato che le sole operazioni di composizione sono quella sequenziale e parallela, per garantire la composizionalità è sufficiente dimostrare che la bisimilarità definisca una congruenza rispetto a tali operazioni. Questa proprietà permette, quindi, di affrontare problemi di model checking per sistemi concorrenti in modo composizionale, sfruttando efficaci decomposizioni del modello in termini di componenti più semplici che possono essere verificate separatamente prima di essere composte (Sobocinski, 2015).

L'algebra delle net with boundary costituisce un esempio dei cosiddetti *string diagram* (Selinger, 2011), che combinano la sintassi algebrica con un'efficace rappresentazione grafica (linguaggio di scatole e fili, a due dimensioni). Gli *string diagram* si sono dimostrati molto versatili ed espressivi, capaci di offrire un approccio bialgebrico alla definizione di reti di Petri, come visto sopra, di *signal flow graph* nell'ambito della teoria del controllo di sistemi, dei circuiti elettrici e anche dei circuiti quantistici (Bonchi, Sobocinski e Zanasi, 2015; Coecke e Kissinger, 2017; Baez e Fong, 2018; Bonchi, Piedeleu et al., 2021).

Il caso delle bisimulazioni che preservino le dipendenze causali è più complesso: gli stati del sistema sono arricchiti con un ordine parziale (poset) di cause relative agli eventi passati, chiamati grafi causali, con la conseguenza che tali grafi possono non solo contenere un numero infinito di stati, ma anche esibire *branching* infiniti. Per ridurre le dimensioni dei grafi e rendere il sistema a *branching* finito è possibile però sfruttare alcuni accorgimenti: per prima cosa tenere solo l'insieme delle cause più recenti, poi considerare gli stati a meno di isomorfismi equipaggiandoli con un insieme di simmetrie, ovvero un gruppo di isomorfismi tra poset. In particolare, le simmetrie sono necessarie per garantire l'esistenza di un modello equivalente minimale, spesso addirittura a stati finiti. Rispetto a un approccio *ad hoc* set-teoretico, tale costruzione viene condotta in maniera più conveniente sfruttando la teoria delle coalgebre su prefasci introdotta da Fiore e Turi (2001) per i calcoli di processo con passaggio di nomi. Per i grafi causali, l'opportuna categoria degli indici dei prefasci da considerare è quella dei poset etichettati (Bruni, Montanari e Sammartino, 2015a). Attraverso la presentazione coalgebrica è possibile sintetizzare un tipo particolare di automi, chiamati *hi-*

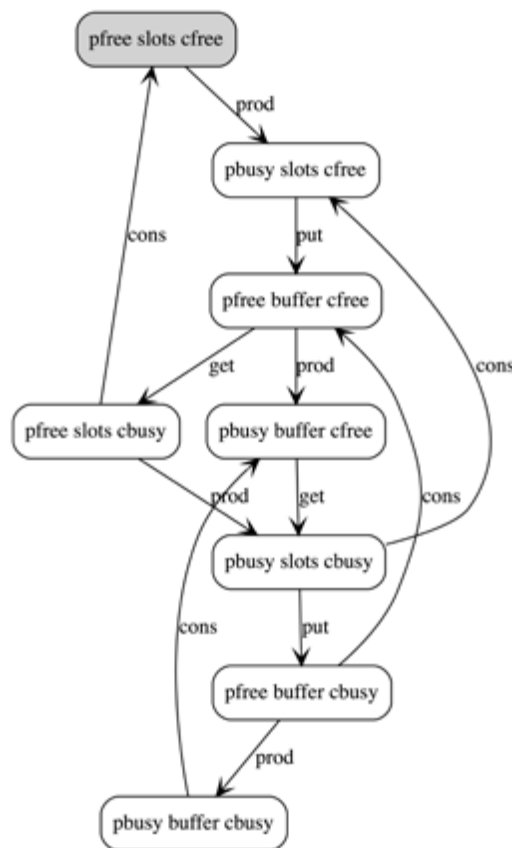
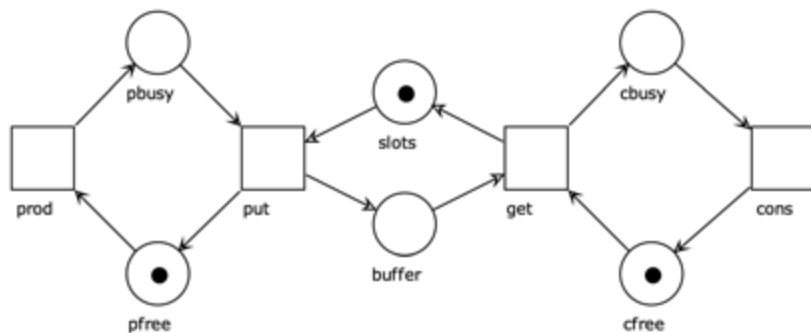


Fig. 9 La rete bounded per il sistema con un produttore, un consumatore e un buffer a una sola posizione e il corrispondente grafo di raggiungibilità.

story-dependent, o HD-automi in breve, che sono stati ampiamente studiati per la verifica dei calcoli di processo (Ferrari, Montanari e Tuosto, 2005; Ferrari, Gnesi et al., 2003; Montanari e Pistore, 2005; Ciancia e Montanari, 2010). In particolare, gli HD-automi rendono possibile minimizzare il modello favorendo lo sviluppo di sistemi di analisi e verifica efficienti.

Breve storia delle reti di Petri

Carl Adam Petri nacque il 12 luglio 1926 a Lipsia. Dopo essersi laureato in Matematica nel 1956 divenne assistente all'Università Tecnica di Hannover e successivamente all'Università di Bonn, dove preparò la sua tesi di dottorato, poi presentata alla Facoltà di Matematica e Fisica dell'Università Tecnica di Darmstadt.

Nella sua tesi, Petri (1962) motivava la necessità di disporre, per lo studio dei sistemi distribuiti, di una nuova teoria che potesse sostituire l'allora prevalente teoria degli automi sfruttando i principi della Fisica moderna. Alcune fonti riferiscono che il modello grafico fu sviluppato per rappresentare processi chimici – e più in particolare quelli catalitici – quando Petri era ancora adolescente e fu ripreso solo successivamente alla pubblicazione della tesi di dottorato, dove infatti non compare. La tesi di dottorato, successivamente tradotta in inglese (Petri, 1966), diede seguito a una serie di lavori che miravano allo sviluppo di una teoria generale delle reti con applicazioni interdisciplinari in Informatica, Logica, Economia, Meccanica, Biologia, sistemi di produzione, protocolli di comunicazione e altri ancora.

Dal 1963 al 1968 Petri diresse il centro di calcolo dell'Università di Bonn. Nel 1968 fondò il GMD-Forschungszentrum Informationstechnik (GMD), del quale rimase a capo fino al 1991. Nel 1998 la Society for Design and Process Science istituì il Carl Adam Petri Distinguished Technical Achievement Award e nel 1999 Petri ricevette il titolo di dottorato *honoris causa* dall'Università di Saragozza. Nel 2003 fu insignito del titolo di Commander of the Order of the Netherlands Lion. Nel 2007 fu premiato dalla Academy of Transdisciplinary Learning and Advanced Studies (ATLAS) con l'Academy Gold Medal of Honor e nel 2008 ricevette il prestigioso Computer Pioneer Award della IEEE. Nel 2010 morì a Siegburg all'età di 83 anni.

Stando a Murata (1989), il lavoro iniziale di Petri (1963) fu notato da A. W. Holt, futuro direttore dell'Information System Theory Project of Applied Data Research, Inc. (USA) che cominciò a studiarne possibili sviluppi e applicazioni in collaborazione con altri autori, quali Frederic G. Commoner e Amir Pnueli, nella serie di lavori raccolti in (Dennis, 1970).

Nei primi anni Settanta il gruppo più attivo nella ricerca sulle reti di Petri fu il Computation Structure Group del MIT dove si tenne anche il primo convegno, senza atti cartacei *Petri Nets and Related Methods*. In Europa, nell'ottobre del 1979, si tenne ad Amburgo un corso avanzato di due settimane dal titolo: *General Net Theory of Processes and Systems* (Brauer, 1980).

Mentre cominciavano ad apparire dei tutorial mirati a offrire una presentazione accessibile alle reti di Petri (Peterson, 1977; Agerwala, 1979; Johnsonbaugh e Murata,

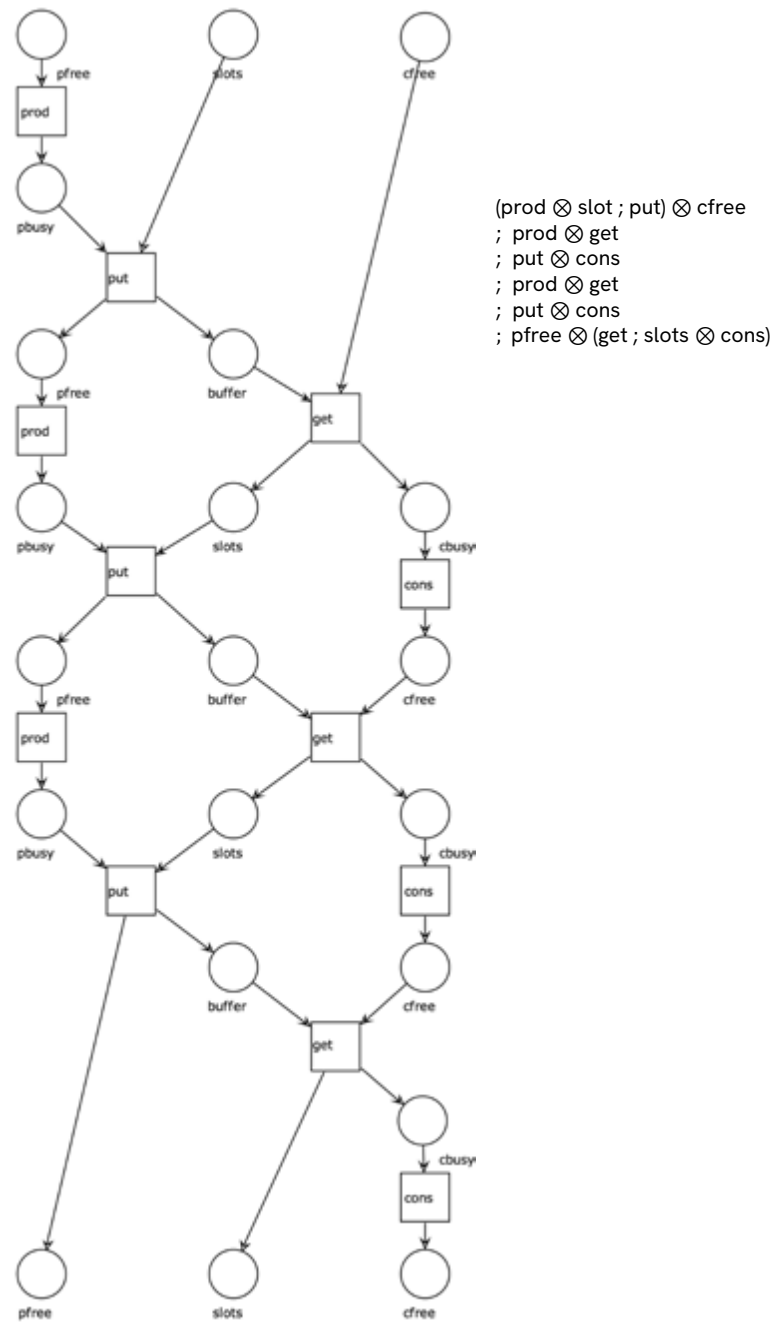


Fig. 10 Un processo non sequenziale per la rete in Fig. 9.

1982), nei primi anni Ottanta vennero stampati anche i primi libri interamente dedicati alle reti di Petri (Peterson, 1981; Reisig, 1985), che riportavano un'estesa bibliografia annotata degli articoli apparsi sull'argomento fino a quel momento.

Negli anni Ottanta, a Strasburgo, si tenne anche il primo workshop *Applications and Theory of Petri Nets*, evolutosi negli anni in una serie di conferenze annuali (*ICATPN, International Conference on Applications and Theory of Petri nets and Concurrency*) sono tradizionalmente pubblicati nella serie di volumi *Lecture Notes in Computer Science* della Springer Verlag (<https://link.springer.com/conference/apn>). Dal 2008, la collana *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency (ToPNOC)* raccoglie le versioni rivedute ed estese dei lavori più importanti presentati a *ICATPN*, assieme a contributi originali. A metà degli anni Ottanta nacque anche la Petri net Newsletter dello Special Interest Group on Petri Nets and Related System Models of the Gesellschaft für Informatik, poi evoluta in mailing list.

Nel corso degli anni, le reti di Petri sono state opportunamente estese per affrontare problemi specifici e contesti applicativi diversi. Per motivi di spazio, ci limitiamo a citare le reti con archi contestuali, che permettono di abilitare le transizioni rispetto alla sola presenza o assenza di gettoni in una piazza, ma senza consumarlo (Christensen e Hansen, 1993; Janicki e Koutny, 1995; Montanari e Rossi, 1995; Vogler, 1997); le reti colorate, che permettono di manipolare gettoni con informazioni strutturate e condizionare l'esecuzione delle transizioni rispetto ai valori presenti nei gettoni (Jensen e Kristensen, 2014); le reti con topologia dinamica, con passaggio di nomi e creazione di nuovi frammenti di rete come effetto dell'esecuzione di certe transizioni (Asperti e Busi, 2009; Buscemi e Sassone, 2001); le reti con tempo e stocastiche, per lo studio di modelli quantitativi e analisi di performance (Wang, 1998; Marsan et al., 1994; Lindemann, 1998).

Come riconoscimento ai contributi scientifici di Petri, due volumi presentano una biografia accurata (Smith, 2015) e una panoramica degli interessi, delle collaborazioni e dell'influenza nel campo della ricerca delle idee di Petri (Reisig e Rozenberg, 2019).

La teoria della concorrenza in Italia

Comporre un elenco esaustivo che renda il giusto merito a tutti i contributi degli studiosi italiani sul tema dei sistemi concorrenti – anche solo restringendo l'attenzione ai soli modelli come le reti di Petri – sarebbe un'impresa titanica destinata a fallire. Per questo motivo preferiamo, invece, limitarci a fornire una panoramica, necessariamente parziale, dei principali gruppi di ricerca che hanno lavorato con maggiore continuità sulle tematiche trattate nel capitolo.

Questa direzione di ricerca ricevette un primo sostanzioso impulso nell'ambito del Progetto Finalizzato Informatica, svoltosi nel periodo 1979-1985, per il quale rimandiamo all'omonimo capitolo curato da Angelo Raffaele Meo, che diresse il progetto, e alla sezione su Metodi Formali e Software Engineering all'IEI nel capitolo sulla Storia della nascita degli Istituti informatici CNR a Pisa a cura di Domenico Laforenza, col contributo di Antonia Bertolino, Mario Fusani e Stefania Gnesi. Ugo Montanari era

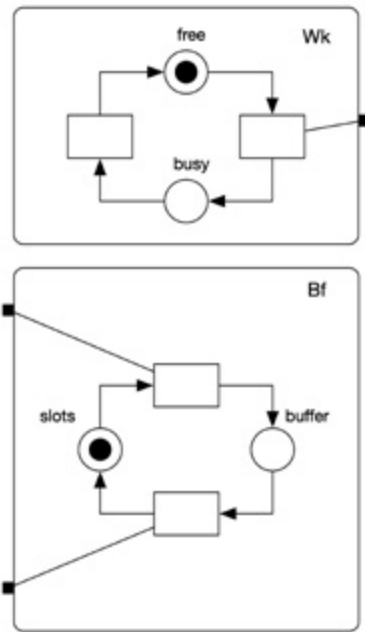


Fig.11 Alcune net with boundary.

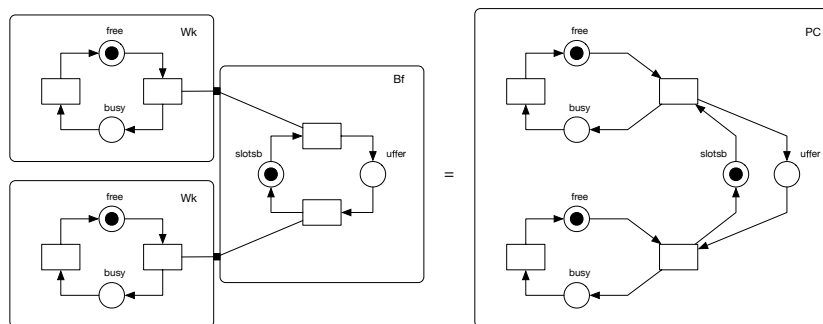


Fig. 12 La rete PC = (Wk \otimes Wk); Bf

responsabile del primo dei tre sotto-progetti, che affrontava tematiche relative all'impiego e programmazione di multi-microprocessori e all'implementazione di sistemi distribuiti su reti locali (CNET, Obiettivo Campus Net, del quale era responsabile Norma Lijtmaer). In questo fertile contesto, si sviluppano gli interessi di ricerca verso approcci fondazionali ai sistemi concorrenti e distribuiti di ricercatori come Stefania Gnesi, Ilaria Castellani, Rocco De Nicola e Pierpaolo Degano. Sempre nell'ambito del progetto finalizzato, Gianfranco Balbo ha definito le basi del formalismo noto come GSPN, Generalized Stochastic Petri Nets (Marsan et al., 1994), che è successivamente divenuto un linguaggio di modellazione ampiamente utilizzato per la specifica e l'analisi di modelli di sistemi di calcolo e di telecomunicazione, di sistemi flessibili di lavorazione e, più recentemente, ha trovato applicazioni anche in System Biology.

Negli anni successivi alla conclusione del progetto, Rocco De Nicola, Pierpaolo Degano e Ugo Montanari continuano a collaborare scrivendo alcuni lavori su algebre di processi, reti di Petri ed equivalenze osservative, che diventeranno noti con la sigla DDM (dalle iniziali dei loro cognomi). Sulle GSPN saranno invece molto attive Susanna Donatelli, Giuliana Franceschinis e Giovanni Chiola.

Nel 1990 si tiene la prima edizione di *CONCUR*, una conferenza che diverrà il maggior punto di riferimento per la ricerca nell'area della concorrenza. Il convegno è organizzato nell'ambito dell'ESPRIT Basic Research Action 3006, *CONCUR* (Theories of Concurrency: Unification and Extension), progetto iniziato nel settembre del 1989 per esplorare le connessioni tra i differenti approcci proposti per la teoria della concorrenza e favorire lo sviluppo di nuovi modelli e formalismi che permettano di trattare il maggior numero possibile di casi di studio. Gli atti del convegno riguardano linguaggi di specifica e algebre di processi, equivalenze astratte e bisimulazione, logiche temporali e reti di Petri. Nel volume compaiono i contributi di Ugo Montanari, Rocco De Nicola, Roberto Gorrieri e Catuscia Palamidessi (Baeten e Klop, 1990).

In quegli anni la "scuola pisana" acquisisce notevole credito e visibilità nell'ambito della comunità internazionale della teoria della concorrenza e dei modelli concettuali, anche grazie alla possibilità di collaborare con ricercatori del CNR e della scuola di Ingegneria, come Nicoletta De Francesco, Paola Inverardi, Gigliola Vaglini, Alessandro Fantechi, Franco Mazzanti e soprattutto della scuola di Dottorato dove si formano ricercatori come Paolo Ciancarini (I ciclo), Andrea Asperti, Andrea Corradini, Gian-Luigi Ferrari, Michele Pinna (II ciclo), Roberto Amadio (III ciclo), Antonio Brogi, Cosimo Laneve, Francesca Rossi (IV ciclo), Antonio Cerone, Daniel Yankelevich (V ciclo), Gioia Ristori (scomparsa prematuramente) e Vladimiro Sassone (VI ciclo), oltre ai già menzionati Catuscia Palamidessi (I ciclo) e Roberto Gorrieri (III ciclo). Altri illustri studiosi del settore, come Luca Aceto e Davide Sangiorgi, hanno conseguito la laurea a Pisa per poi proseguire gli studi di dottorato e la carriera all'estero.

Alla fine degli anni Novanta e all'inizio del nuovo secolo, i vantaggi in termini di astrazione, adeguatezza e generalità offerti dalla teoria delle categorie nell'ambito della concorrenza vengono pubblicizzati prevalentemente dalle ricerche di Ugo Montanari, Andrea Corradini, Vladimiro Sassone, Fabio Gadducci, Marino Miculan, Roberto Bruni, Marina Lenisa, Paolo Baldan, Marco Pistore, ed Emilio Tuosto presso l'Università di Pisa; di Anna Labella presso l'Università di Roma; di Stefano Kasan-

gian presso l'Università di Milano e di Nicoletta Sabadini, Robert F.C. Walters e Piergiulio Katis presso l'Università di Milano prima, e poi all'Insubria.

Nello stesso periodo, lo studio di reti di Petri, di sistemi di riscrittura di grafi, delle *statecharts* e delle tecniche basate su algebre di processo e calcoli per sistemi mobili e biologici viene promosso dagli studi di Ugo Montanari, Andrea Maggiolo Schettini, Andrea Corradini, Gian-Luigi Ferrari, Pierpaolo Degano, Roberto Barbuti, Corrado Priami, Paola Quaglia, Francesca Levi, Chiara Bodei, Massimo Merro, Simone Tini, Ruggero Lanotte, Massimo Bartoletti, Hernán Melgratti, Ivan Lanese, Maria Grazia Buscemi, Dan Hirsch, Angelo Troina e Roberto Zunino presso l'Università di Pisa; di Stefania Gnesi, Diego Latella e Mieke Massink presso il CNR di Pisa; di Rocco De Nicola, Flavio Corradini, Michele Boreale, Rosario Pugliese, Daniele Gorla, Michele Loreti e Lorenzo Bettini presso l'Università di Firenze; di Roberto Gorrieri, Cosimo Laneve, Andrea Asperti, Marco Bernardo, Gianluigi Zavattaro, Riccardo Focardi, Nadia Busi (prematamente scomparsa) e Mario Bravetti presso l'Università di Bologna; di Michele Bugliesi e Silvia Crafa presso l'Università di Venezia.

Negli anni più recenti, nuova linfa a queste linee di ricerca viene portata dal rinnovato interesse verso l'uso delle algebre di processo per esprimere tipi comportamentali, grazie ai contributi di ricercatori molto noti nell'ambito della teoria dei tipi come ad esempio Mariangiola Dezani-Ciancaglini, Mario Coppo, Betti Venneri, Elena Giachino, Franco Barbanera e Ugo de' Liguoro.

Altrettanto propositiva e stimolante è la partecipazione di una nuova generazione di ricercatori, tra i quali ci limitiamo a citare Paolo Milazzo, con applicazioni in ambito bioinformatico; Filippo Bonchi, Vincenzo Ciancia e Matteo Sammartino, nell'ambito coalgebrico e bialgebrico; Marco Carbone e Fabrizio Montesi, per programmazione concorrente basata su coreografie, Francesco Tiezzi e Luca Padovani, per i loro contributi su calcoli di processo.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo di cuore i curatori del volume, Maristella Agosti e Virginio Cantoni, per l'iniziativa e per averci invitato a contribuire con questo piccolo tassello al grande mosaico dell'Informatica. Un grosso ringraziamento va anche a Paolo Baldan e Gian-Luigi Ferrari che con la loro conoscenza del settore e i loro utili commenti sulla versione preliminare del testo ci hanno consentito di migliorare, per quanto possibile, la presentazione del materiale.

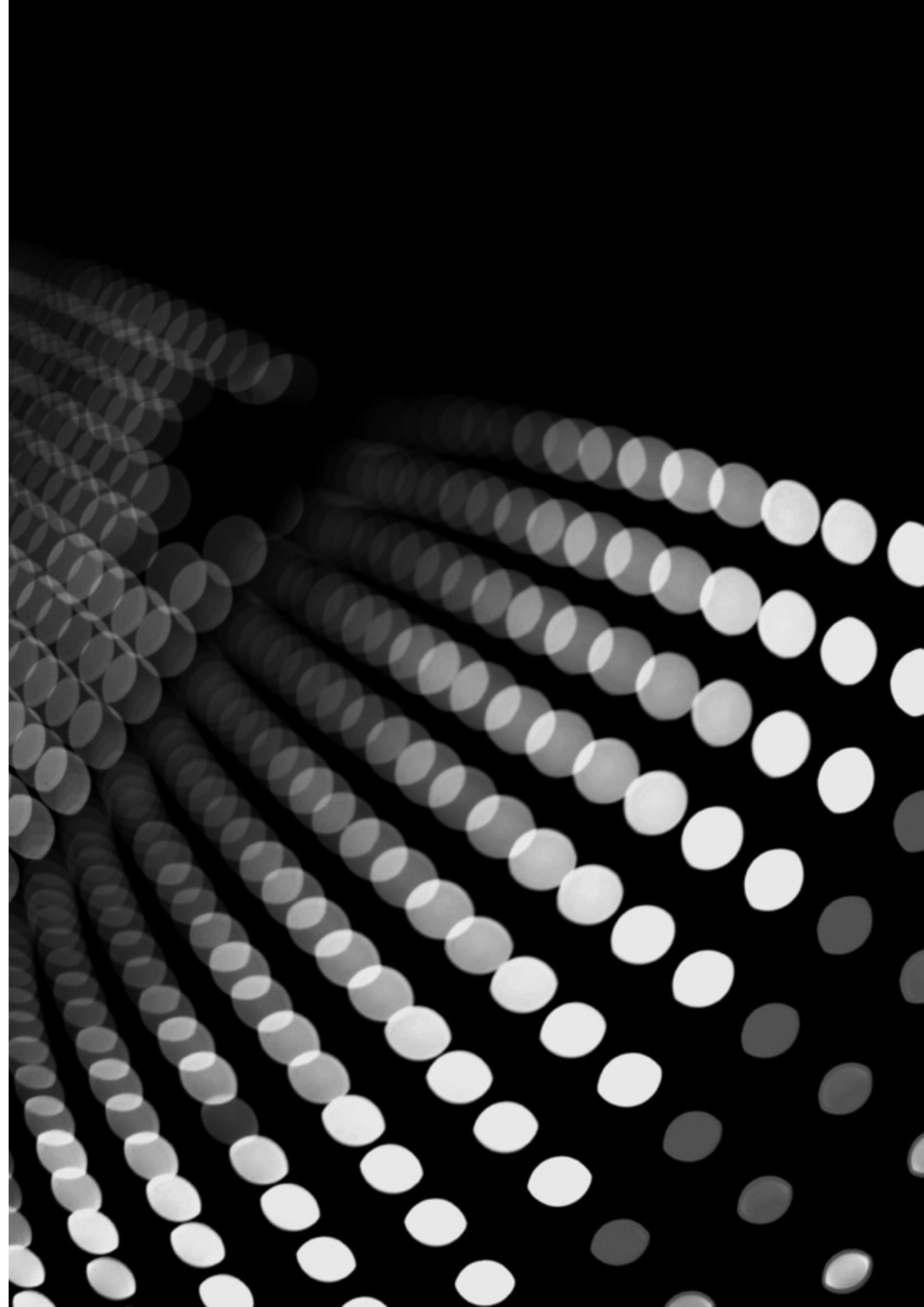
BIBLIOGRAFIA

- Aalst, Wil M. P. van der. 2016. *Process Mining - Data Science in Action, Second Edition*. Springer.
- Aalst, Wil M. P. van der, e Kees M. van Hee. 2002. *Workflow Management: Models, Methods, and Systems*. MIT Press.
- Aalst, Wil M. P. van der, e Christian Stahl. 2011. *Modeling Business Processes - A Petri Net-Oriented Approach*. MIT Press.
- Aceto, Luca et al. 2007. *Reactive Systems: Modelling, Specification and Verification*. Cambridge University Press.
- Agerwala, Tilak. 1979. "Special Feature: Putting Petri Nets to Work." *Computer* 12.12, pp. 85-94.
- Agha, Gul. 1986. *Actors: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems*. MIT Press.
- Asperti, Andrea, e Nadia Busi. 2009. "Mobile Petri nets." *Math. Struct. Comput. Sci.* 19.6, pp. 1265-1278.
- Baeten, Jos C. M., e Jan Willem Klop, cur. 1990. "CONCUR 90." In *Theories of Concurrency: Unification and Extension, Amsterdam, The Netherlands, August 27-30, 1990, Proceedings*. Vol. 458. Lecture Notes in Computer Science. Springer. ISBN: 3-540-53048-7.
- Baeten, Jos C. M., e W. P. Weijland. 1990. *Process algebra*. Vol. 18. Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science. Cambridge University Press.
- Baez, John C., e Brendan Fong. 2018. "A compositional framework for passive linear networks." *Theory and Applications of Categories* 33.38, pp. 1158-1222.
- Baldan, Paolo et al. 2008. "Bisimilarity and Behaviour-Preserving Reconfigurations of Open Petri Nets." *Log. Methods Comput. Sci.* 4.4.
- Best, Eike e Raymond R. Devillers. 1987. "Sequential and Concurrent Behaviour in Petri Net Theory." *Theor. Comput. Sci.* 55.1, pp. 87-136.
- Best, Eike, Raymond R. Devillers, e Maciej Koutny. 2001. *Petri net algebra*. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer.
- Best, Eike, Raymond R. Devillers, e Maciej Koutny. 2002. "The Box Algebra = Petri Nets + Process Expressions." *Inf. Comput.* 178.1, pp. 44-100.
- Billington, Jonathan, Michel Diaz, e Grzegorz Rozenberg, cur. 1999. *Application of Petri Nets to Communication Networks*. Vol. 1605. Lecture Notes in Computer Science. Springer.
- Bonchi, Filippo, Robin Piedeleu et al. (2021). "Bialgebraic foundations for the operational semantics of string diagrams." *Inf. Comput.* 281, p. 104767.
- Bonchi, Filippo, Pawel Sobocinski, e Fabio Zanasi. 2015. "Full Abstraction for Signal Flow Graphs." In: *Proc. of POPL 2015*. A cura di Sriram K. Rajamani e David Walker. ACM, pp. 515-526.
- Brauer, Wilfried, cur. 1980. *Net Theory and Applications, Proceedings of the Advanced Course on General Net Theory of Processes and Systems*. Vol. 84. Lecture Notes in Computer Science. Springer.
- Bruni, Roberto, Hernán C. Melgratti, e Ugo Montanari. 2019. "Concurrency and Probability: Removing Confusion, compositionally." *Log. Methods Comput. Sci.* 15.4.
- Bruni, Roberto, Hernán C. Melgratti, e Ugo Montanari. 2020. "Bayesian network semantics for Petri nets." *Theor. Comput. Sci.* 807, pp. 95-113.
- Bruni, Roberto, Hernán C. Melgratti, Ugo Montanari, e Pawel Sobocinski. 2013. "Connector algebras for C/E and P/T nets' interactions." *Log. Methods Comput. Sci.* 9.3.
- Bruni, Roberto, José Meseguer et al. (2001). "Functorial Models for Petri Nets." *Inf. Comput.* 170.2, pp. 207-236.
- Bruni, Roberto, Ugo Montanari, e Matteo Sammartino. 2015a. "A coalgebraic semantics for causality in Petri nets." *J. Log. Algebraic Methods Program.* 84.6, pp. 853-883.
- Bruni, Roberto, Ugo Montanari, e Matteo Sammartino. 2015b. "Revisiting causality, coalgebraically." *Acta Informatica* 52.1, pp. 5-33.

- Buscemi, Maria Grazia, e Vladimiro Sassone. 2001. "High-Level Petri Nets as Type Theories in the Join Calculus." In: *Proc. of FOSSACS 2001*. A cura di Furio Honsell e Marino Miculan. Vol. 2030. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 104-120.
- Christensen, Søren, e Niels Damgaard Hansen. 1993. "Coloured Petri Nets Extended with Place Capacities, Test Arcs and Inhibitor Arcs." In *Proc. of PN93*. A cura di Marco Ajmone Marsan. Vol. 691. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 186-205.
- Ciancia, Vincenzo, e Ugo Montanari. 2010. "Symmetries, local names and dynamic (de)-allocation of names." *Inf. Comput.* 208.12, pp. 1349-1367.
- Clavel, Manuel et al., cur. 2007. *All About Maude - A High-Performance Logical Framework, How to Specify, Program and Verify Systems in Rewriting Logic*. Vol. 4350. Lecture Notes in Computer Science. Springer.
- Coecke, Bob, e Aleks Kissinger. 2017. *Picturing Quantum Processes: A First Course in Quantum Theory and Diagrammatic Reasoning*. Cambridge University Press.
- Darondeau, Philippe, e Pierpaolo Degano. 1990. "Causal Trees: Interleaving + Causality." In *Proc. of Semantics of Systems of Concurrent Processes, LITP Spring School on Theoretical Computer Science*. A cura di Irène Guessarian. Vol. 469. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 239-255.
- Dennis, Jack B., cur. 1970. *Record of the Project MAC Conference on Concurrent Systems and Parallel Computation, Woods Hole, Massachusetts, USA, June 2-5, 1970*. ACM.
- Dijkstra, Edsger W. 1987. *Manuscript EWD-1000 - Twenty-eight years*. E.W. Dijkstra Archive. Center for American History, University of Texas at Austin.
<http://www.cs.utexas.edu/users/EWD/ewd10xx/EWD1000.PDF>
- Dumas, Marlon et al. 2018. *Fundamentals of Business Process Management, Second Edition*. Springer.
- Ehrig, Hartmut, Karsten Ehrig et al. 2006. *Fundamentals of Algebraic Graph Transformation*. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer.
- Ehrig, Hartmut, Claudia Ermel et al. 2015. *Graph and Model Transformation - General Framework and Applications*. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer.
- Ehrig, Hartmut, Wolfgang Reisig et al., cur. 2003. *Petri Net Technology for Communication Based Systems*. Vol. 2472. Lecture Notes in Computer Science. Springer.
- Esparza, Javier, e Keijo Heljanko. 2008. *Unfoldings - A Partial-Order Approach to Model Checking*. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer.
- Ferrari, Gian-Luigi, Stefania Gnesi et al. 2003. "A model-checking verification environment for mobile processes." *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.* 12.4, pp. 440-473.
- Ferrari, Gian-Luigi, Ugo Montanari, e Emilio Tuosto. 2005. "Coalgebraic minimization of HD-automata for the Pi-calculus using polymorphic types." *Theor. Comput. Sci.* 331.2-3, pp. 325-365.
- Fiore, Marcelo P., e Daniele Turi. 2001. "Semantics of Name and Value Passing." In: *Proc. of LICS 2001*, IEEE Computer Society, pp. 93-104.
- Glabbeek, Rob J. van, e Ursula Goltz. 2001. "Refinement of actions and equivalence notions for concurrent systems." *Acta Informatica* 37.4/5, pp. 229-327.
- Goltz, Ursula, e Wolfgang Reisig. 1983. "The Non-sequential Behavior of Petri Nets." *Inf. Control.* 57.2/3, pp. 125-147.
- Gorrieri, Roberto. 2017. *Process Algebras for Petri Nets - The Alphabetization of Distributed Systems*. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer.
- Harel, David. 1987. "Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems." *Sci. Comput. Program.* 8.3, pp. 231-274.
- Heckel, Reiko, e Gabriele Taentzer. 2020. *Graph Transformation for Software Engineers - With Applications to Model-Based Development and Domain-Specific Language Engineering*. Springer.
- Hoare, Charles A. R. (Tony). 1985. *Communicating Sequential Processes*. Prentice-Hall.
- Janicki, Ryszard, e Maciej Koutny. 1995. "Semantics of Inhibitor Nets." *Inf. Comput.* 123.1, pp. 1-16.
- Jensen, Kurt, e Lars M. Kristensen. 2014. *Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems*. Springer.
- Johnsonbaugh, Richard, e Tadao Murata. 1982. "Petri Nets and Marked Graphs - Mathematical Models of Concurrent Computation." *The American Mathematical Monthly* 89.8, pp. 552-566.
- Kahn, Gilles. 1974. "The Semantics of a Simple Language for Parallel Programming." In *Proc. of the 6th IFIP Congress on Information Processing*. A cura di Jack L. Rosenfeld. North-Holland, pp. 471-475.
- Katis, Piergiulio, Nicoletta Sabadini, e Robert F. C. Walters. 1997. "Representing Place/Transition Nets in Span(Graph)." In *Proc. of AMAST97*. A cura di Michael Johnson. Vol. 1349. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 322-336.
- Klin, Bartek. 2011. "Bialgebras for structural operational semantics: An introduction." *Theor. Comput. Sci.* 412.38, pp. 5043-5069.
- Kunze, Matthias, e Mathias Weske. 2016. *Behavioural Models - From Modelling Finite Automata to Analysing Business Processes*. Springer.
- Lindemann, Christoph. 1998. *Performance Modelling with Deterministic and Stochastic Petri Nets*. John Wiley e Sons.
- Mac Lane, Saunders. 1998. *Categories for the Working Mathematician*. English. 2nd Ed. Vol. 5. Graduate Texts in Mathematics. Springer.
- Marsan, Marco Ajmone et al. 1994. *Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets*. Wiley Series in Parallel Computing. John Wiley e Sons.
- McMillan, Kenneth L. 1992. "Using Unfoldings to Avoid the State Explosion Problem in the Verification of Asynchronous Circuits." In *Proc. of CAV92*, a cura di Gregor von Bochmann e David K. Probst. Vol. 663. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 164-177.
- McMillan, Kenneth L. 1993. *Symbolic model checking*. Kluwer.
- Meseguer, José. 1992. "Conditional Rewriting Logic as a Unified Model of Concurrency." *Theor. Comput. Sci.* 96.1, pp. 73-155.
- Meseguer, José, e Ugo Montanari. 1990. "Petri Nets Are Monoids." *Inf. Comput.* 88.2, pp. 105-155.
- Meseguer, José, Ugo Montanari, e Vladimiro Sassone. 1997. "On the Semantics of Place/Transition Petri Nets." *Math. Struct. Comput. Sci.* 7.4, pp. 359-397.
- Milner, Robin. 1989. *Communication and concurrency*. PHI Series in Computer Science. Prentice Hall.
- Milner, Robin. 1999. *Communicating and mobile systems - the Pi-calculus*. Cambridge University Press.
- Montanari, Ugo, e Marco Pistore. 2005. "Structured coalgebras and minimal HD-automata for the pi-calculus." *Theor. Comput. Sci.* 340.3, pp. 539-576.
- Montanari, Ugo, e Francesca Rossi. 1995. "Contextual Nets." *Acta Informatica* 32.6, pp. 545-596.
- Murata, Tadao. 1989. "Petri nets: Properties, analysis and applications." In *Proc. IEEE* 77.4, pp. 541-580.
- Nielsen, Mogens, Gordon D. Plotkin, e Glynn Winskel. 1981. "Petri Nets, Event Structures and Domains, Part I." *Theor. Comput. Sci.* 13, pp. 85-108.
- Nielsen, Mogens, Lutz Priebe, e Vladimiro Sassone. 1995. "Characterizing Behavioural Congruences for Petri Nets." In *Proc. of CONCUR95*. A cura di Insup Lee e Scott A. Smolka. Vol. 962. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 175-189.
- Park, David. 1981. "Concurrency and Automata on Infinite Sequences." In *Proc. of the 5th GI-Conference on Theoretical Computer Science*. A cura di Peter Deussen. Vol. 104. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 167-183.
- Parnas, David Lorge. 1972. "On the Criteria to Be Used in Decomposing Systems into Modules." *Commun. ACM* 15.12, pp. 1053-1058.
- Peterson, James L. 1977. "Petri Nets." *ACM Comput. Surv.* 9.3, pp. 223-252.
- Peterson, James L. 1981. *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*. Prentice Hall.
- Petri, Carl Adam. 1962. "Kommunikation mit Automaten." Tesi di dott. Institut für Instrumentelle Mathematik, Bonn.
- Petri, Carl Adam. 1963. "Fundamentals of a theory of asynchronous information flow." In *Proc. IFIP Congress 62*, pp. 386-390.
- Petri, Carl Adam. 1966. *Communication with Automata*. Rapp. tecn. AD0630125. DTIC.

- Petri, Carl Adam. 1977. *Non-Sequential Processes*. Internal Report ISF-77-01. Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, St. Augustin.
- Reisig, Wolfgang. 1985. *Petri Nets, An Introduction*. EATCS Monographs on Theoretical Computer Science. Springer.
- Reisig, Wolfgang. 2013. *Understanding Petri Nets - Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies*. Springer.
- Reisig, Wolfgang. 2018. "Composition: A Fresh Look at an Old Topic." In *Models, Mindsets, Meta: The What, the How, and the Why Not? - Essays Dedicated to Bernhard Steffen on the Occasion of His 60th Birthday*. A cura di Tiziana Margaria, Susanne Graf e Kim G. Larsen. Vol. 11200. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 372-389.
- Reisig, Wolfgang. 2019. "Associative composition of components with double sided interfaces." *Acta Informatica* 56.3, pp. 229-253.
- Reisig, Wolfgang, e Grzegorz Rozenberg, cur. 2019. *Carl Adam Petri: Ideas, Personality, Impact*. Springer.
- Roscoe, A. W. 2010. *Understanding Concurrent Systems*. Texts in Computer Science. Springer.
- Rudolph, Ekkart, Peter Graubmann, e Jens Grabowski. 1996. "Tutorial on Message Sequence Charts." *Comput. Networks and ISDN Syst.* 28.12, pp. 1629-1641.
- Rumbaugh, James, Ivar Jacobson, e Grady Booch. 2004. *Unified Modeling Language Reference Manual (2nd Edition)*. Pearson Higher Education.
- Sangiorgi, Davide. 2012. *Introduction to Bisimulation and Coinduction*. Cambridge University Press.
- Sangiorgi, Davide, e Jan Rutten, cur. 2012. *Advanced Topics in Bisimulation and Coinduction*. Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science 52. Cambridge University Press.
- Sangiorgi, Davide, e David Walker. 2001. *The Pi-Calculus - A theory of mobile processes*. Cambridge University Press.
- Scheer, August-Wilhelm. 2000. *ARIS - Business Process Frameworks*. Springer.
- Selinger, Peter. 2011. "A survey of graphical languages for monoidal categories." *Springer Lect. Notes Phys.* 13, pp. 289-355.
- Smith, Einar. 2015. *Carl Adam Petri - Life and Science*. Springer.
- Sobocinski, Pawel. 2010. "Representations of Petri Net Interactions." In *Proc. of CONCUR 2010*. A cura di Paul Gastin e François Laroussinie. Vol. 6269. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 554-568.
- Sobocinski, Pawel. 2015. "Compositional model checking of concurrent systems, with Petri nets." In: *Proc. of DCM 2015*. A cura di César A. Muñoz e Jorge A. Pérez. Vol. 204. EPTCS, pp. 19-30.
- Turi, Daniele, e Gordon D. Plotkin. 1997. "Towards a Mathematical Operational Semantics." In *Proc. of LICS97*. IEEE Computer Society, pp. 280-291.
- Vogler, Walter. 1997. "Efficiency of Asynchronous Systems and Read Arcs in Petri Nets." In *Proc. of ICALP97*. A cura di Pierpaolo Degano, Roberto Gorrieri e Alberto Marchetti-Spaccamela. Vol. 1256. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 538-548.
- Wang, Jiacun. 1998. *Timed Petri Nets, Theory and Application*. Kluwer Academic Publishers.
- Weske, Mathias. 2019. *Business Process Management - Concepts, Languages, Architectures, Third Edition*. Springer.
- Winskel, Glynn. 1986. "Event Structures." In *Petri Nets: Central Models and Their Properties, Advances in Petri Nets 1986, Part II*. A cura di Wilfried Brauer, Wolfgang Reisig, e Grzegorz Rozenberg. Vol. 255. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 325-392.
- Yakovlev, Alexandre, Luís Gomes, e Luciano Lavagno, cur. 2000. *Hardware Design and Petri Nets*. Kluwer Academic Publishers.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprema-vol3-28>



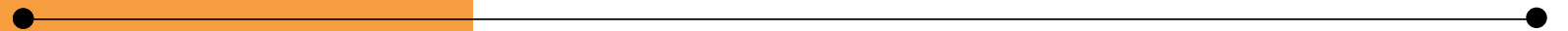


**Linee
di ricerca**

29

Luigia Carlucci Aiello

**Intelligenza artificiale,
rappresentazione
della conoscenza**



Premessa

Il presente contributo offre una breve introduzione all'Intelligenza Artificiale (IA), partendo dalle sue origini e procedendo con il racconto del suo sviluppo nel mondo, con un particolare approfondimento sulla storia dell'IA in Italia. Il contributo analizza, in modo specifico, i progressi nella ricerca, soprattutto per quanto concerne la rappresentazione della conoscenza e il ragionamento automatico, noto come KR&R (dall'inglese *Knowledge Representation and Reasoning*). Dalla trattazione, nonostante la inevitabile necessità di sintesi, emerge la ricchezza e l'eccellenza della ricerca in KR&R sviluppata in Italia.

Cos'è l'Intelligenza Artificiale

L'obiettivo dell'Intelligenza Artificiale è la costruzione di sistemi hardware e software che hanno comportamenti paragonabili a quelli dell'intelligenza umana.

La storia che ci si appresta a raccontare prende le mosse dal periodo in cui è nato il computer, nonostante le indagini sulla comprensione e la riproduzione dei meccanismi della mente umana siano iniziate secoli, se non millenni, addietro.

Negli anni Trenta del secolo scorso, più precisamente nel 1936, il matematico inglese Alan Turing (1912-1954), allora studente a Cambridge, introdusse un formalismo¹, noto come “Macchina di Turing”, che gli permise di caratterizzare l'insieme delle funzioni calcolabili². Più importante, egli introdusse la “Macchina di Turing Universale”, che influenzò l'architettura divenuta poi nota come “architettura di von Neumann”, che è alla base dei moderni computer digitali e legata all'intuizione di Turing relativa alla possibilità di rendere le macchine intelligenti. Turing, con l'affermazione:

Mi propongo di affrontare il problema se sia possibile per ciò che è meccanico manifestare un comportamento intelligente.

introdusse l'argomento delle macchine intelligenti nel 1948, riprendendolo nel 1950, quando propose un metodo per la misura dell'intelligenza di un computer, che divenne famoso come “Test di Turing”.

Turing introdusse l'espressione inglese di *Machine Intelligence*, (intelligenza delle macchine), che rimase in uso nella scuola di Edimburgo fino agli anni Settanta.

1. Nel seguito non ci saranno riferimenti bibliografici, se non per i lavori di italiani. Per tutto il resto si rimanda al libro AIMA (Russell e Norvig 2020) che ha un capitolo esauriente sulla storia dell'Intelligenza Artificiale e una bibliografia molto ricca.

2. È interessante ricordare che il nome “Macchina di Turing” fu introdotto da Alonzo Church (1903-1995). Infatti, Turing, dopo gli studi in UK, nel 1936 andò a Princeton, dove in quegli anni operavano i maggiori logici dell'epoca: da Kurt Gödel (1906-1978), ad Alonzo Church e Stephen Kleene (1909-1994), impegnati – sulla scia di David Hilbert (1862-1943) – nello studio dei fondamenti della matematica e del calcolo. Da quella fucina uscirono i risultati più significativi sulla calcolabilità: il Lambda Calcolo (Church) e le funzioni ricorsive (suggerite da Gödel e investigate da Kleene). È di quegli anni a Princeton la dimostrazione che Turing fece dell'equivalenza del Lambda Calcolo e delle “sue” macchine.

La dizione “intelligenza artificiale” fu coniata a metà degli anni Cinquanta del Novecento dal matematico statunitense John McCarthy (1927-2011), con lo scopo di attirare l'attenzione su una ricerca allora giovanissima e in cerca di una sua identità. Il primo documento in cui compare l'espressione intelligenza artificiale è la richiesta di finanziamento del 1955 (McCarthy et al. 1955) per l'organizzazione del seminario che si tenne al Dartmouth College di Hannover (USA) nell'estate del 1956. È ancora oggi impressionante vedere come tutti i problemi che ha affrontato la ricerca negli anni fossero già sul tavolo durante il seminario, che, certamente, può essere considerato il suo momento fondativo.

La scelta di tale nome ha sicuramente avuto un effetto trainante: il sogno di costruire macchine simili all'uomo ha sempre attratto e stimolato i ricercatori. Tuttavia, ha pure costituito un problema: i ricercatori che negli anni si sono occupati di intelligenza artificiale hanno dovuto fronteggiare livelli di critica e sfiducia sull'esito delle loro ricerche certamente superiori rispetto a quanto avvenuto in altri campi del sapere.

Il seminario di Dartmouth era stato preceduto da almeno un decennio di intense ricerche in Cibernetica. Ed è proprio dall'approccio cibernetico che McCarthy voleva prendere le distanze coniando questo nome così accattivante.

Il termine Cibernetica era stato introdotto a metà degli anni Quaranta dal matematico Norbert Wiener (1894-1964) che, nel 1948, pubblicò un libro di grande successo. Obiettivo della Cibernetica era lo studio unificato degli organismi e delle macchine, anzi delle nuove macchine o “nuovi automi”, come li chiamava Wiener, dotati di dispositivi di retroazione negativa. La Cibernetica si qualificò subito come area di ricerca fortemente interdisciplinare, essendo di interesse per neurologi, psicologi, sociologi, antropologi, matematici e pionieri della scienza dei calcolatori come John von Neumann (1903-1957) e Claude Shannon (1916-2001). Inoltre, grazie anche alla grande capacità di lavoro e all'amore per i viaggi di Wiener, la Cibernetica si diffuse molto velocemente in Europa, Cina e America latina.

Ma torniamo all'intelligenza artificiale e al seminario di Dartmouth, che, favorendo l'incontro tra i protagonisti della ricerca accademica e industriale statunitense, fu sorgente di ispirazione per molti risultati scientifici importanti, la definizione di obiettivi di lungo termine e riflessioni filosofiche. Nel 1957 Allen Newell (1927-1992) e Herbert Simon (1916-2001) realizzarono il General Problem Solver (GPS), mentre Noam Chomsky pubblicava *Le strutture della sintassi*, uno studio della linguistica che diventerà un caposaldo nella progettazione della sintassi dei linguaggi di programmazione. L'anno successivo vide la luce, ad opera di McCarthy, il linguaggio di programmazione LISP, linguaggio funzionale ispirato al Lambda Calcolo di Alonzo Church, che divenne lo strumento di lavoro di buona parte della comunità di intelligenza artificiale per molti anni. Nel 1962 Arthur Samuel (1901-1990) fece giocare un suo programma contro l'ex campione di dama del Connecticut. Il programma, che incorporava rudimentali tecniche di apprendimento, vinse l'incontro.

Subito dopo la scuola di Dartmouth i protagonisti accademici della ricerca in intelligenza artificiale, divisi nelle varie università americane, fondarono laboratori molto diversi, come stile di lavoro, obiettivi a breve termine e metodologie adottate: MIT, per merito di Marvin Minsky (1927-2016); CMU, dove operarono Newell e Simon; infine, Stanford,

dove si era trasferito McCarthy dal Dartmouth College dopo un breve passaggio per MIT.

Intorno a questi laboratori sono fiorite iniziative industriali e sono stati creati centri di ricerca che hanno contribuito all'avanzamento delle conoscenze e della tecnologia e hanno avuto un grande impatto sull'evoluzione nel campo e, inoltre, nei settori delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione. Per limitarci alla Silicon Valley, fiorita intorno a Stanford, basti pensare all'SRI International, culla della prima ricerca in intelligenza artificiale, robotica mobile autonoma, e sviluppatore dei primi sistemi esperti, oppure a XEROX PARC, sviluppatore di tecnologie che, anche per merito di Alan Kay, hanno trovato largo impiego nell'automazione d'ufficio e nel personal computing.

Quasi contemporaneamente ai primi laboratori americani si costituì un gruppo di ricerca a Edimburgo guidato da Donald Michie (1923-2007) e Bernard Meltzer (1916-2008) e, poco dopo, Erik Sandewall (1945-2024) promosse la creazione di un gruppo a Uppsala poi a Linköping, in Svezia.

La diversa impostazione dei vari gruppi di ricerca “storici” nonostante l'uscita di scena dei padri fondatori e l'evoluzione degli scenari di riferimento internazionali è, ancora oggi, percepibile. La moltiplicazione dei laboratori di ricerca in intelligenza artificiale, che ha comportato una presenza capillare della rete di ricerca nel mondo intero, con una evoluzione che ha dapprima visto come protagonista la ricerca nordamericana, seguita dalla europea e solo negli anni Ottanta, con il progetto Fifth Generation Computer Systems (FGCS), ha visto l'ingresso, sulla scena mondiale, del Giappone e, in seguito, di tutta l'area asiatica e australiana. Ora la ricerca in IA è molto presente in tutto il mondo, con numeri davvero impressionanti, specialmente in Cina.

La ricerca in Intelligenza Artificiale è stata caratterizzata da grandi dibattiti, principalmente sugli obiettivi e sulla loro raggiungibilità. Il punto focale delle discussioni ha sempre riguardato le scelte di fondo da fare per realizzare sistemi che raggiungano prestazioni “da intelligenza umana”. I confronti più accesi si sono focalizzati sulla rappresentazione della conoscenza. Innanzi tutto vediamo cosa si intende per rappresentazione della conoscenza in intelligenza artificiale. Lo facciamo citando McCarthy: “*If you want a machine to prove a theorem, first it must be told it*”. Per costruire un sistema intelligente che possa ragionare su un dato dominio, per prima cosa occorre fornire al sistema una descrizione delle cose che compongono il dominio, delle loro proprietà e relazioni. Dal punto di vista applicativo, è necessario costruire nel sistema una rappresentazione del dominio e associarci un meccanismo che possa fare ragionamenti manipolandola, al fine di fornire risposte alle nostre domande. Come detto in precedenza, useremo la sigla KR&R per indicare il formalismo di rappresentazione e l'associato apparato deduttivo.

Con questa premessa, le prime grandi discussioni hanno riguardato i formalismi per fornire al computer una rappresentazione della conoscenza: formalismi *ad hoc* (ad esempio: reti semantiche, frame) o logica; logica del primo ordine o Prolog; logica classica o logiche modali; rappresentazione dichiarativa o procedurale; simbolica o subsimbolica. Oltre al progredire delle ricerche e alla soluzione di alcuni problemi teorici, l'aumentata potenza di calcolo ha fatto sì che approcci in passato ritenuti poco promettenti, più recentemente abbiano dato successi di rilievo. Attualmente, in particolare, gli approcci statistici – fino a qualche anno fa considerati da alcuni la negazione dell'intelligenza artificiale – stanno avendo un largo sviluppo e assistiamo a molti cambiamenti nella ricerca in questo ambito.

Nei laboratori americani di intelligenza artificiale, negli anni Sessanta, ci si occupava di robotica mobile autonoma. Si pensi allo Stanford Artificial Intelligence Laboratory (SAIL) diretto da McCarthy, nel quale fu sviluppato lo Stanford Cart, un robot su ruote che girava sulla strada davanti al laboratorio, guidato da un programma/piano-d'azione predisposto su un PDP (della DIGITAL) nel laboratorio e scaricato via radio sul Cart. Il Cart fu di ispirazione per la realizzazione di Shakey, robot costruito all'SRI International. Su Shakey, comandato tramite una workstation, vennero testati i primi algoritmi di pianificazione automatica. Tra questi, spicca l'algoritmo A* – introdotto nel 1968 da Peter Hart, Nils Nilsson (1933-2019) e Bertram Raphael – considerato un pilastro nel campo. Tuttavia, in seguito, la complessità nell'affrontare l'intera problematica portò a un percorso separato per le due discipline, che recuperarono una sostanziale convergenza verso la fine del ventesimo secolo.

La ricerca in intelligenza artificiale, nel corso del tempo, è stata caratterizzata da grandi cambiamenti di paradigma; determinati dal riconoscimento dei fallimenti, o comunque dei limiti, degli approcci fino a quel momento seguiti.

Il primo grande cambiamento si ebbe alla fine degli anni Sessanta e nei primi anni Settanta. Come già detto, Newell e Simon avevano sviluppato il GPS, General Problem Solver, sistema che aveva l'ambizione di risolvere tutti i problemi, cioè di essere universalmente intelligente. Si è presto capito che alla generalità non si associava la possibilità di risolvere problemi applicativi di grandi dimensioni, per cui si è abbandonata l'idea della generalità e si è passati alla realizzazione di sistemi basati sulla conoscenza, partendo dal punto di vista che l'intelligenza può essere dimostrata da un sistema artificiale solo se ci si restringe a un dominio limitato di competenze, e che non esiste il ragionatore puro, cioè l'intelligenza “nel vuoto”.

Sono quindi stati proposti, alla fine degli anni Settanta e nei primi anni Ottanta, i sistemi basati sulla conoscenza, più noti come “sistemi esperti”.

“*Knowledge is power*” usava dire Edward Feigenbaum, considerato il padre dei sistemi esperti.

Il periodo dei sistemi esperti, a cavallo tra gli anni Settanta e Ottanta, può ragionevolmente essere considerato un'epoca di successi applicativi, ma anche una incredibile gabbia da cui l'intelligenza artificiale ha fatto fatica a liberarsi³.

Successivamente si registrarono ulteriori cambiamenti di paradigma: il primo relativo alla concezione dell'agente intelligente (indipendentemente dal fatto di essere o meno incorporato in un sistema fisico) come elemento basilare per programmare sistemi, il secondo legato ad una nuova discussione e visione della sequenza:

Percezione - Ragionamento - Azione

L'enfasi della ricerca in intelligenza artificiale in passato è stata molto sbilanciata sulla componente di ragionamento, considerando in qualche modo più semplici le altre due, e soprattutto sottovalutando l'aspetto della loro integrazione. Il paradosso è stato

3. L'Intelligenza artificiale è quella cosa per cui tutto si riduce a regole del tipo if-then! Talvolta questo tipo di tecnologia venne chiamato GOFAI: Good Old Fashioned Artificial Intelligence.

la concezione di un programma che vince il campione del mondo a scacchi, ma non sa individuare e spostare una scacchiera in una scena complessa e illuminata non in modo ottimale. Il cambiamento di paradigma della metà degli anni Novanta, rappresentato dalla “robotica cognitiva” ha portato a una visione dell’intelligenza da tre differenti punti di vista: *embodied*, *embedded* e *situated*. La relazione tra la fisicità del sistema e il software ha acquisito una nuova importanza nella cosiddetta “robotica mobile autonoma”, caratterizzata da comportamento intelligente del software quando incorporato in un sistema fisico.

Passiamo ora ad esaminare la situazione in Italia, procedendo per decenni e inquadrandola nella situazione internazionale.

I primordi, gli anni Quaranta e Cinquanta del 1900

Come detto precedentemente, inizialmente la ricerca in intelligenza artificiale – eccezion fatta per la Gran Bretagna – non ha riscosso molta attenzione in un’Europa impegnata in una faticosa ripresa seguita alla Seconda guerra mondiale.

Negli anni Trenta non c’era nella matematica italiana una scuola di logica pronta a recepire e costruire partendo dai risultati di Turing. Infatti, lo studio della logica si era inaridito dopo Peano e durante il ventennio fascista; esso rinacque solo negli anni Cinquanta a opera di Ludovico Geymonat (1908-1991) e dei suoi allievi, e sempre negli anni Cinquanta la teoria degli automi e la calcolabilità trovarono ricercatori interessati tra i filosofi della scienza, i pionieri della ricerca in Informatica⁴ teorica e gli studiosi di linguaggi di programmazione: Vittorio Somenzi (1918-2003), Corrado Böhm (1923-2017) e Alfonso Caracciolo di Forino (1925-1996)⁵.

Di converso, la Cibernetica ha ricevuto da subito un notevole interesse in Italia⁶. È possibile datare il suo ingresso ufficiale sulla scena della ricerca italiana nella prima metà degli anni Cinquanta, in particolare quando, tra il 1952 e il 1954, si costituì a Roma, presso l’Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni, il Centro Italiano di Cibernetica, al quale aderirono Corrado Böhm, Bruno De Finetti (1906-1985), Giorgio Sacerdoti (1925-2005) e Vittorio Somenzi.

Diversi sono stati i centri di Cibernetica attivi in Italia nel periodo del suo maggiore sviluppo, tra i primi anni Cinquanta e i primi anni Settanta del Novecento, e diversi gli interessi di ricerca prevalenti dei loro promotori. I centri di Cibernetica sorti a Napoli con Eduardo Renato Caianiello (1921-1993), a Genova con Antonio Borsellino (1915-1992)

4. Si usa qui il nome “Informatica” anche se esso verrà introdotto solo a metà degli anni Sessanta in Francia col *Plan Calcul*.

5. Il contributo “Linguaggi di programmazione” del presente volume contiene una sezione dedicata a Böhm e Caracciolo. Inoltre, di Böhm e Caracciolo scrive ampiamente Simone Martini (2024).

6. Si veda (Cordeschi e Numerico 2013) e, per una ricostruzione accurata e dettagliata della nascita e della evoluzione della scuola cibernetica napoletana, si veda il contributo “La tripla vita dell’Istituto di Cibernetica “Eduardo Caianiello” del CNR” nel volume 1.

e a Milano con Silvio Ceccato (1914-1997), si differenziarono tra loro nettamente dal punto di vista del contesto applicativo, rispettivamente: neurofisiologia, biofisica e linguistica.

Nel complesso, le ricerche cibernetiche in Italia del periodo in esame, rispetto al progetto interdisciplinare originario, hanno progressivamente finito per frammentarsi, o, in qualche caso, arenarsi. Ciononostante, hanno contribuito a formare generazioni di ricercatori che, nei decenni successivi, si sono confrontati con la ricerca in Informatica teorica e in intelligenza artificiale.

La figura più importante nella Cibernetica italiana è senza dubbio Caianiello, sia per la sua attività di promozione di un ampio spettro di ricerche interdisciplinari, sia per i risultati ottenuti nel settore delle reti neurali e della teoria quantistica dei campi. Dopo gli studi di fisica in Italia e negli Stati Uniti, nel 1956 Caianiello ottenne la cattedra di fisica teorica presso l’Università di Napoli, dove l’anno seguente, anche con finanziamenti del CNR, diede vita all’Istituto di fisica teorica, nel quale istituì il Gruppo di Cibernetica.

L’interesse di Caianiello per la Cibernetica fu stimolato da un seminario tenuto da Norbert Wiener nel 1954 a Roma, un evento promosso da Enrico Fermi. Fu in questa occasione che Caianiello ebbe l’opportunità di incontrare il neurofisiologo e psichiatra Valentino von Braitenberg (1926-2011). Successivamente, Caianiello invitò, a Napoli, Braitenberg che ebbe un ruolo cruciale nello sviluppo e nell’innovazione delle attività del gruppo di ricerca.

Caianiello pubblicò un primo lavoro sulle reti neurali nel 1959 (Caianiello 1959). Risale, però, al 1961 l’articolo *Outline of a Theory of Thought-processes and Thinking machines* (Caianiello 1961), probabilmente il suo principale contributo all’argomento, al quale certamente deve la sua notorietà a livello internazionale.

La tesi di Caianiello si basava sull’assunto che i processi cerebrali, per quanto complessi, rispondessero a leggi dinamiche relativamente semplici. Per dimostrarlo, si doveva ricorrere a un modello idealizzato dei processi neurali reali sotto forma di reti neurali artificiali, con la speranza che, nonostante le drastiche schematizzazioni e semplificazioni, le caratteristiche essenziali della produzione del pensiero fossero conservate dal modello. Il modello a rete neurale, a tal fine, doveva, dunque, essere dotato di alcune caratteristiche proprie del cervello, come la capacità di ricordare e di dimenticare, di apprendere e di autorganizzarsi.

Borsellino, fisico teorico all’Università di Genova, poi docente di Biofisica a Trieste presso la SISSA (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati), promosse lo studio della Cibernetica a Genova, con la creazione di un laboratorio CNR a Camogli. A partire dalla fine degli anni Cinquanta, le ricerche del laboratorio di Camogli si concentrarono, in particolare, sul riconoscimento di forme con la macchina PAPA (Programmatore e Analizzatore Probabilistico Automatico), uno dei primi sistemi di riconoscimento di forme mai costruito (Borsellino e Gamba 1961). Inizialmente, a Genova, come a Napoli, mantenendo lo spirito del progetto cibernetico originario, si proseguì la tradizione di ricerche che andavano dagli studi biologici e neurofisiologici sul comportamento degli organismi, alla costruzione di manufatti che ne simulavano le prestazioni. Negli anni Settanta, il gruppo di Genova condusse ricerche di intelligenza artificiale, in particolare nel settore della visione (tra gli allievi di Borsellino ricordiamo Tomaso Poggio ora all’MIT e Vincent Torre ora alla SISSA a Trieste).

La Cibernetica in Italia si diffuse tra i filosofi attraverso la Scuola Operativa Italiana (SOI), attiva fin dalla seconda metà degli anni Quaranta a opera di Silvio Ceccato (1914-1997) e Vittorio Somenzi, insieme a Giuseppe Vaccarino (1919-2016).

Ceccato, figura di ricercatore dai molti interessi e in qualche misura eccentrico, diresse fin dalla fondazione (1957) il Centro di Cibernetica e attività linguistiche presso l'Università di Milano. Critico verso le posizioni di Wiener, Ceccato introdusse il concetto di “terza Cibernetica”, per distinguerla sia dalla cibernetica wieneriana, o dell'automazione (interessata alla costruzione di macchine che simulano una prestazione umana, ma non le catene di operazioni o i processi umani che la producono), sia dalla bionica, interessata, esclusivamente ai processi neurali e biologici. Una “Cibernetica della mente” dedicata all'analisi delle operazioni mentali, trascurata dalla Cibernetica wieneriana definita “comportamentistica”.

Nel 1956 si tenne il Convegno internazionale sull'automatismo, organizzato dal CNR. Il convegno vide la partecipazione di un gran numero di ricercatori attivi nel campo dell'automazione nelle sue diverse applicazioni, dall'industria all'organizzazione pubblica, e nei suoi diversi aspetti economici, sociali, formativi, oltre che nel campo delle telecomunicazioni, e dei grandi calcolatori, all'epoca realizzati anche in Italia. Il convegno registrò la presenza di Ceccato e, tra i molti italiani, il già ricordato Böhm, Antonio Lepschy (1931-2005), Antonio Ruberti (1927-2000) e Padre Roberto Busa (1913-2011) (CNR 1958). Lepschy e Ruberti hanno sviluppato due importanti scuole di controlli automatici, a Padova e a Roma, rispettivamente. Padre Busa fu un pioniere nell'automazione dei lessici (il suo *Index Thomisticus* resta un lavoro esemplare), con lui collaborò inizialmente Antonio Zampolli (1937-2003), poi fondatore dell'Istituto di Linguistica Computazionale (ILC) del CNR a Pisa⁷.

I progetti di automazione del linguaggio naturale di Ceccato, che erano rivolti principalmente alla traduzione automatica, si interruppero, al pari di altri progetti in altri paesi, a cominciare dagli Stati Uniti, dai quali egli aveva inizialmente ricevuto finanziamenti. Come nel caso delle reti neurali, dove i finanziamenti e le ricerche furono interrotti dopo la pubblicazione del libro *Perceptron* di Marvin Minsky e Seymour Papert (1928-2016) nel 1969⁸, così per la traduzione automatica i limiti di questi programmi di ricerca, legati anche alla tecnologia hardware e software dell'epoca, portarono a un ridimensionamento, se non a una cessazione, dei finanziamenti in diversi paesi.

A Somenzi, che ricoprì la prima cattedra di filosofia della scienza presso l'Università di Roma, si deve la prima raccolta, in Italia, di scritti sulla Cibernetica: *I principi della cibernetica e dei servomeccanismi* (1953). Negli anni successivi l'interesse di Somenzi per

7. Si veda il contributo “Natural Language Processing in Italia” nel presente volume.

8. L'algoritmo “Perceptron”, come introdotto da Rosenblatt nel 1958, era basato su una rete neurale con un solo strato di nodi che veniva opportunamente addestrata. Rosenblatt aveva generato molte aspettative circa i problemi che potevano essere risolti con questa rappresentazione, ma Minsky e Papert nel loro libro mostrarono i limiti del suo potere espressivo: con una rete neurale a uno strato anche dopo un opportuno addestramento si potevano riconoscere solamente funzioni linearmente separabili (quindi, per esempio, neanche la funzione booleana XOR). Questa severa limitazione fece scemare l'interesse per le reti neurali.

la Cibernetica assunse una propria connotazione, come documentato dall'antologia *La filosofia degli automi* (1965). Wiener, uno dei protagonisti di questo volume, insieme ad altri pionieri della Cibernetica e della scienza dei calcolatori come Shannon, von Neumann e Turing, influenzò generazioni di ricercatori italiani.

Verso la metà degli anni Cinquanta i primi computer entrarono nelle Università italiane: nel 1954 con Luigi Dadda (1923-2012) al Politecnico di Milano⁹; nel 1955 con Mauro Picone (1885-1977) all'INAC (Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo) di Roma. Alla fine del 1957, solo otto computer erano stati installati in Italia, la metà dei quali nelle università e nei centri di ricerca¹⁰.

La storia di Pisa segue un percorso diverso. Su suggerimento di Enrico Fermi, nel 1954, un finanziamento destinato ad altri scopi¹¹ venne, invece, utilizzato per costruire un computer. Il progetto contribuì alla nascita, nel 1955, del centro CNR CSCE (Centro Studi Calcolatrici Elettroniche)¹², nel quale la CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana) fu realizzata e inaugurata nel 1961. Pisa, da allora, è stata luogo di sviluppo di una grande cultura di Informatica, in particolare di Informatica teorica.

Le scuole di Cibernetica stavano convertendosi all'Informatica e questo processo vide coinvolti in particolare Caianiello, Böhm e Caracciolo, anche se non direttamente impegnati in attività di ricerca in intelligenza artificiale. Caracciolo, in particolare, nutriva una certa antipatia nei confronti di McCarthy, a causa di punti di vista diversi sui linguaggi di programmazione¹³. Mentre da una parte Böhm studiava problemi di calcolabilità, e si dedicava allo studio di formalismi quali il Lambda Calcolo di Alonzo Church e la Logica Combinatoria di Haskell Curry (1900-1982), Caracciolo approfondiva lo studio degli algoritmi di Markov (Andrej Markov, matematico e logico russo, 1903-1976) e ne curava una implementazione, detta PANON, sulla CEP al fine di definire in modo formale la semantica di vari linguaggi di programmazione in voga all'epoca¹⁴.

9. Si veda il contributo “La CRC 102A del Politecnico di Milano” nel volume 1.

10. Di questo si parla più diffusamente in altri contributi della presente opera.

11. Le amministrazioni provinciali e comunali di Pisa, Lucca e Livorno, avevano offerto all'Università di Pisa 150 milioni di lire per la costruzione dell'elettrosincrotrone nazionale.

12. Si veda il contributo “Storia della nascita degli Istituti informatici CNR a Pisa” del volume 1 e, per una precisa e dettagliata ricostruzione dei passi che hanno portato alla CEP, si veda il contributo “Le calcolatrici elettroniche pisane” anche del volume 1.

13. Erano gli anni in cui si progettava l'Algol 60, gli scienziati americani e europei si incontravano e discutevano il set di istruzioni da inserire nel linguaggio: l'“if-then-else” gradito a McCarthy non lo era altrettanto a Caracciolo. Inoltre Caracciolo davvero non apprezzava il tripudio di parentesi del LISP.

14. Si vedano anche i contributi “Informatica Teorica in Italia” nel volume 2 e “Linguaggi di Programmazione” nel volume 3.

Gli anni Sessanta

All'inizio degli anni Sessanta, mentre in America si faceva ricerca, il cui livello di solidità era definito da McCarthy “*Look, Ma, no hands*”¹⁵, in Italia, era ancora in corso la transizione dalla Cibernetica all'Informatica teorica. Tuttavia, questo decennio fu caratterizzato da alcuni avvenimenti importanti per lo sviluppo dell'intelligenza artificiale.

Nel 1961 venne fondata l'Associazione Italiana per il Calcolo Automatico¹⁶ (AICA), a opera di Picone, Dadda e altri, nata anche per rispondere alle esigenze delle industrie e delle pubbliche amministrazioni, che si stavano dotando di computer. AICA diventò, in brevissimo tempo, un importante punto di riferimento nazionale e internazionale. A livello nazionale, la comunità scientifica s'incontrava e si confrontava nel corso dei congressi organizzati dall'AICA; a livello internazionale, AICA divenne il referente per l'Italia nell'IFIP (International Federation for Information Processing), costituita nel 1960. L'IFIP è organizzata in technical committee (TC), ogni TC è organizzato in diversi working group (WG). Il TC2 “Software: Theory and Practice” è stato fondato nel 1962¹⁷. Il WG2.2 “Working Group on Formal Description of Programming Concepts” dell'IFIP (in cui l'Italia ebbe nelle persone di Böhm e Caracciolo una importante presenza) fu costituito nel 1965, in un periodo in cui i linguaggi di programmazione, in particolare i linguaggi per l'intelligenza artificiale, erano oggetto di rilevanti studi e ricerche.

Gli anni Sessanta furono caratterizzati dalla creazione di centri di calcolo. Importante tra questi fu il CNUCE, nato a Pisa da una convenzione tra il Ministero dell'università e l'IBM¹⁸. L'IBM diede in uso gratuito per 5 anni un IBM 7090 all'Università di Pisa, con la richiesta che l'uso fosse per 1/3 riservato all'IBM stessa, 1/3 fosse destinato all'università di Pisa e 1/3 fosse disponibile per tutte le università italiane. L'accordo si inseriva nel quadro di una politica generale dell'IBM e faceva seguito a un analogo accordo stipulato con la Gran Bretagna e la Danimarca. L'arrivo della macchina IBM 7090, sostituita successivamente da un IBM 360, ha reso Pisa la culla dell'informatica nazionale, condizionando, al contempo, la ricerca in intelligenza artificiale. Sempre negli anni Sessanta, i laboratori americani dedicati a questo ambito erano dotati, in genere, di macchine DIGITAL, più adatte per i linguaggi per l'intelligenza artificiale. Le macchine IBM creavano

15. Come dicono i bambini quando imparano ad andare in bicicletta e tolgono le mani dal manubrio senza perdere l'equilibrio.

16. L'AICA successivamente verrà ridenominata “Associazione Italiana per l'Informatica e il Calcolo Automatico”.

17. Mentre il TC2 dell'IFIP è stato fondato nel 1962, il Comitato Tecnico per l'Intelligenza Artificiale TC12 è stato fondato solamente nel 1989.

18. Il CNUCE fu successivamente trasformato in un istituto CNR; per approfondimenti si veda il contributo “Storia della nascita degli Istituti informatici CNR a Pisa” nel volume 1.

Si veda il contributo “Didattica informatica a livello universitario” nel volume 1.

problemi di implementazione e di portabilità del software e di fatto hanno limitato la sperimentazione di programmi per l'intelligenza artificiale nei laboratori italiani.

Per quanto riguarda l'insegnamento universitario e la formazione di giovani ricercatori, mancando, fino al 1969, un Corso di laurea in Informatica¹⁹, corsi di Cibernetica e teoria dell'informazione erano inseriti nei *curricula* di Matematica e Fisica. Dall'anno accademico 1964-65 a Pisa era possibile frequentare un corso universitario post-laurea di un anno: il Corso di specializzazione in Calcolo Automatico, erogato al CSCE, che attraeva giovani da varie parti d'Italia. Da quel corso passarono, tra gli altri, Giovanni Soda (1944-2014) e Oliviero Stock, che poi avrebbero avuto un ruolo attivo nella ricerca in intelligenza artificiale. Per quanto riguarda le esperienze di giovani ricercatori all'estero, il CNR, in quegli anni, gestiva un numero importante di borse di studio destinate a questo scopo, alcune finanziate su fondi NATO.

Nel 1969, il Ministero della pubblica istruzione approvò l'istituzione nella Facoltà di Scienze dell'Università di Pisa del primo Corso di laurea in Scienze dell'Informazione. Il CSCE, che dal 1968 si trasformò nell'Istituto di Elaborazione dell'Informazione (IEI), contribuì all'avvio del corso grazie, in particolare, ad Antonio Grasselli che dal Politecnico di Milano, si trasferì al CSCE, con l'obiettivo di creare un gruppo di ricerca su elaborazione di immagini e segnali (reparto poi ridenominato EINN: Elaborazione dell'Informazione Non Numerica). Grasselli fu seguito, nell'avventura pisana, da un gruppo di neolaureati del Politecnico di Milano. Tra questi Ugo Montanari, che arrivò a Pisa alla fine del 1969 dopo un proficuo soggiorno negli Stati Uniti.

In America, i tre grandi laboratori creati all'MIT, CMU e Stanford, pienamente attivi, iniziarono a produrre e disseminare i primi risultati: dal Logic Theorist di Newell e Simon, al sistema per dimostrare teoremi di geometria piana di Herbert Gelernter (1929-2015), al Principio di Risoluzione di Alan Robinson (1930-2016) per il ragionamento logico, che fornirà la chiave di volta per lo sviluppo del Prolog. Inoltre, fu sviluppato il programma ELIZA, che, basandosi sulla elaborazione del linguaggio naturale, simulava i comportamenti di uno psicoterapeuta. ELIZA fu realizzato tra il 1964 e il 1967, all'MIT da Joseph Weizenbaum (1923-2008). Ai programmi e ai sistemi citati aggiungiamo quelli creati da tre studenti di Minsky all'MIT: il sistema di matematica simbolica MACSYMA di Joel Moses (1941-2022), il Planner di Carl Hewitt (1944-2022), e SHRDLU di Terry Winograd.

Nel 1969 venne organizzata la prima *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)* a Washington DC. Nessun articolo italiano era nel programma, Ugo Montanari fu l'unico italiano tra i partecipanti.

Gli anni Settanta

L'Italia non è certo tra i pionieri nella ricerca in intelligenza artificiale. I primi che, a conoscenza di chi scrive, hanno dichiarato il loro interesse per l'intelligenza artificiale sono stati, agli inizi degli anni Settanta, Marco Somalvico (1941-2002) al Politecnico di

19. Si veda il contributo “Didattica informatica a livello universitario” nel volume 1.

Milano e Ugo Montanari a Pisa, e con lui i ricercatori del reparto di EINN dell'IEI²⁰. Marco Somalvico tornò al Politecnico di Milano dopo un soggiorno al SAIL di McCarthy e, particolarmente entusiasta del LISP, lanciò il MPAI (Milan Polytechnic Artificial Intelligence) Project. Si rimanda al contributo “Robotica” di questo volume per una descrizione della ricerca fatta al MPAI in Robotica. Qui ci si limita a ricordare che il gruppo MPAI fu molto attivo e vi si formarono eccellenti ricercatori, alcuni dei quali hanno poi proseguito la ricerca al Politecnico di Milano (tra questi Giuseppina Gini e Marco Colombetti), altri hanno condotto attività di ricerca in intelligenza artificiale e Robotica in varie università italiane (Enrico Pagello a Padova; Giovanni Guida prima a Udine, poi a Brescia).

Rientrato a Pisa, Montanari, con il suo bagaglio di esperienze e di letteratura grigia raccolto nei laboratori americani, coinvolse i giovani del reparto EINN e i giovani collaboratori del neocostituito istituto universitario ISI (Istituto di Scienze dell'Informazione) dell'Università di Pisa. Questi, con l'approvazione del direttore dell'IEI dell'epoca, Gianfranco Capriz (1925-2022) cambiarono direzione di ricerca: dall'elaborazione di immagini e segnali per cui era nato il reparto EINN, a tematiche “centrali” dell'Intelligenza Artificiale quali dimostrazione automatica di teoremi, soluzione automatica di problemi e linguaggi per l'Intelligenza Artificiale.

L'intensissimo programma di studio e lavoro fu caratterizzato dalla partecipazione a scuole estive²¹ e dal programma di inviti a ricercatori che Montanari aveva conosciuto in America. Una pietra miliare fu il corso intensivo di LISP, impartito da Erik Sandewall, invitato a Pisa nell'estate del 1971.

Negli anni Settanta, il gruppo EINN-IEI in collaborazione con l'ISI produsse alcuni risultati importanti:

- dall'algoritmo lineare di unificazione proposto da Alberto Martelli e Ugo Montanari pubblicato molti anni dopo (1982), al lavoro pionieristico sulla ricerca euristica e sulla programmazione a vincoli di Montanari (1970, 1974);
- i lavori sui grafi AND/OR di Martelli e Montanari (1973) e di Giorgio Levi e Franco Sirovich (1976);
- lo sviluppo del Magma Lisp, ambiente di programmazione per l'epoca molto innovativo (Montangero, Pacini, e Turini 1975), poi largamente utilizzato dal gruppo di ricercatori di linguistica computazionale del CNR ILC;
- una prima implementazione di meccanismi per rappresentare meta-conoscenza in FOL – il sistema di dimostrazione automatica di teoremi per la logica del primo ordine sviluppato al SAIL da Richard Weyhrauch – (Aiello M. e Weyhrauch 1975);
- la dimostrazione automatica di proprietà di programmi (Aiello L., Aiello M., e Weyhrauch 1977), di proprietà dell'aritmetica (Aiello L. e Weyhrauch 1980);
- uno sviluppo del FOL (Aiello L. 1980);

20. Reparto del quale all'epoca l'autrice di questo contributo faceva parte, dopo una tesi di laurea di cui era stato relatore Caracciolo.

21. L'autrice del contributo ha conosciuto McCarthy e altri ricercatori di intelligenza artificiale a una scuola estiva a Dubrovnik nel 1970.

- lo sviluppo del PPC, un dimostratore di teoremi basato sul Lambda Calcolo, e implementato in Lisp, con una tecnica di programmazione che successivamente divenne nota come object oriented e che vide coinvolta l'autrice di questo contributo insieme a Mario Aiello (1945-1976), Giuseppe Attardi e a Gianfranco Prini (Aiello L. et al. 1977), (Aiello L. e Prini 1981);
- il linguaggio OMEGA progettato da Attardi e Maria Simi (1981).

Il gruppo EINN dell'IEI degli anni Settanta ebbe un sostanziale rinnovamento alla fine del decennio in quanto i suoi componenti, risultati vincitori di concorsi a cattedra, si spostarono in varie università italiane: Montanari e Levi a Pisa; Martelli e Sirovich a Torino, Luigia Aiello ad Ancona e poi alla Sapienza di Roma.

Negli anni Settanta, con la crescita delle applicazioni industriali dell'Intelligenza Artificiale, si avvertì l'esigenza di riconoscersi in un gruppo di lavoro all'interno dell'AICA. Il Gruppo di Lavoro di Intelligenza Artificiale (GLIA), fu creato nel 1977 e coordinato per un decennio da Sandro Incerti della Tecsiel, cui successe, per un breve periodo, Franco Manucci dello CSELT. Il GLIA fu molto attivo, ma, successivamente, quando, per le mutate esigenze scientifiche e industriali, nascerà l'AIxIA (di cui parleremo nella prossima sezione) e successivamente verrà definitivamente chiuso insieme a quasi tutti i gruppi di lavoro dell'AICA.

L'*International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, la cui prima edizione, come ricordato in precedenza, si tenne a Washington nel 1969, prometteva di assumere un respiro internazionale, e di continuare negli anni. La seconda edizione, tenuta a Londra nel 1971 registrò la presentazione di due articoli con autori italiani (Crespi Reghizzi 1971; Aida, Cordella, e Ivacevic 1971); la terza, (Stanford 1973) di un solo articolo a firma italiana (Martelli e Montanari 1973). Il quarto *IJCAI* fu tenuto a Tbilisi in Georgia nel 1975 e ci furono 5 articoli italiani (Aiello M. e Weyhrauch 1975; Levi e Sirovich 1975; Martelli e Montanari 1975; Montangero, Turini, e Pacini 1975; De Mori, Rivoira, e Serra 1975) di cui 4 dal reparto EINN dell'IEI di Pisa (Capriz non aveva sbagliato a dare fiducia ai ricercatori dell'EINN!). Il quinto *IJCAI* fu tenuto a Boston nel 1977 e ci furono due articoli italiani (Dell'Orco, King, e Spadavecchia 1977; Martelli e Montanari 1977); il sesto *IJCAI* fu tenuto a Tokyo e ci furono tre articoli di italiani (Degano e Sirovich 1979; Guida e Somalvico 1979; De Mori e Saitta 1979), tre articoli, infine, (Lesmo, Magnani, e Torasso; Reiter e Crisculo; Attardi e Simi 1981) nel settimo *IJCAI* tenuto nel 1981 a Vancouver.

A Vancouver nel 1981 ci fu una tavola rotonda *Artificial Intelligence: A transatlantic view*, probabilmente l'ultima occasione per l'intelligenza artificiale di proclamarsi transatlantica, perché successivamente entrò prepotentemente in scena il Giappone (di cui si parla nel prossimo paragrafo). Alla tavola rotonda l'autrice di questo contributo era tra gli invitati di parte europea, le cui brevi presentazioni erano di tipo esclusivamente teorico. Nel dibattito che seguì Edward Feigenbaum, che cominciava ad inorgogliersi per i primi successi dei sistemi esperti, le stroncò asserendo in modo lapidario, che, nei fatti, le uniche cose che avevamo in mano erano “*the damned programs of the damned Americans*”. Verissimo, gli europei erano teorici per vocazione e per necessità. Negli anni Settanta Luigia Aiello trascorse quasi quattro anni al SAIL, scrivendo molto codice e svolgendo

attività sperimentale con vari “theorem prover”, e aveva sperimentato in prima persona il significato della frase “gap tecnologico di 5 anni”. Tanti ce ne erano allora tra i nostri laboratori italiani e quelli americani.

Dal 1970 a Xerox PARC lavorava Alan Kay²², dal 1973 c'erano già gli ALTO e dalla fine degli anni Settanta a Stanford iniziò l'avventura delle Stanford University Network (SUN) workstation. Negli stessi anni McCarthy possedeva uno schermo grafico in bianco e nero sulla scrivania di casa collegato via telefono al mainframe PDP10 del SAIL. I computer cominciarono a uscire dai centri di calcolo e ad arrivare sulle scrivanie delle persone.

Mentre al SAIL McCarthy predisponeva una proposta di ricerca sull’“home computing” in cui prevedeva un futuro in cui tutti avrebbero fatto operazioni di banca o comprato biglietti del teatro comodamente da casa, in Italia si faceva fatica ad intravedere un uso personale del computer, essendo ancora ancorati all’idea del centro di calcolo e del computer per grandi applicazioni industriali. In Italia, l’Informatica personale (per uso domestico e per l’automazione d’ufficio) ha faticato molto a imporsi, la svolta si è avuta solo negli anni Ottanta con l’introduzione dei personal computer provenienti dagli Stati Uniti.

Un evento che ebbe un grande impatto fu il simposio per la celebrazione dei 20 anni di Informatica presso il CSCE, poi IEI del CNR a Pisa. Fu chiesto a Luigia e Mario Aiello, da poco tornati da Stanford, di proporre un nome da invitare come speaker; suggerirono Alan Kay, grande personalità, che avevano conosciuto a Xerox PARC e ascoltato in una brillante conferenza a Stanford. Alan Kay fece a Pisa un seminario intitolato *Personal Computing* e istaurò un rapporto con i ricercatori pisani coronato con il conferimento di una laurea honoris causa in Informatica nel 2007²³.

Sempre a Pisa, nel 1978, Gianfranco Prini e Luigia Aiello organizzarono la scuola estiva *Foundations of Artificial Intelligence and Computer Science (FAICS78)* finanziata con fondi NATO e CNR, con lezioni tenute da Gordon Plotkin da Edimburgo, Richard Weyhrauch da Stanford, Carl Hewitt da MIT e James Thatcher (1936-2019) da IBM Yorktown. Parteciparono circa 60 ricercatori da tutta Europa.

Nella seconda metà degli anni Settanta, a livello internazionale, si consumò il primo inverno dell’intelligenza artificiale, dovuto, in particolare, a un certo numero di aspettative deluse. I problemi si erano dimostrati più difficili da risolvere rispetto a quanto ci si attendesse e negli anni Settanta si era presa coscienza della complessità esponenziale di molti problemi di utilità pratica.

Sebbene lo studio della “Theory of the size of a calculation” (o, come venne chiamata successivamente, “Teoria della complessità”), fosse uno dei temi di ricerca elencati nel documento di proposta del seminario di Dartmouth (McCarthy et al 1955),

22. Alan Kay, fautore del personal computing, divenne poi noto per il suo lavoro pionieristico sulla programmazione orientata agli oggetti (Smalltalk) e sulla progettazione di interfacce utente grafiche (GUI) a finestre.

23. Memorabili anche le “Laudatio” di Attardi riportate in https://www.unipi.it/ateneo/comunica/cerimonie/honoris/attardi_kay.htm_cvt.htm e <http://medialab.di.unipi.it/Event/AlanKay/Laudatio.pdf>

nessuno dei ricercatori di intelligenza artificiale dei primi decenni si era seriamente occupato di studiare e sistematizzare questo aspetto.

Nel 1974, Michael Rabin fece una presentazione invitata al congresso IFIP intitolata *Theoretical impediments to Artificial Intelligence*, in cui presentò semplici problemi di aritmetica la cui dimostrazione è estremamente complessa, mettendo in luce la difficoltà di costruire dimostratori automatici di teoremi efficienti, e presentò una serie di problemi combinatori la cui soluzione è esponenziale. Questo per i ricercatori di intelligenza artificiale è stato, negli anni successivi, un incentivo a migliorare le tecniche di ricerca euristica ed a raffinare la progettazione di formalismi di rappresentazione della conoscenza tenendo in conto non solo la decidibilità della deduzione, ma anche la sua complessità, come si vedrà nel seguito. Ma la preoccupazione generata dal lavoro di Rabin e soprattutto il suo titolo (ancorché giudicato fuorviante già da ricercatori dell’epoca) ebbe un effetto molto negativo.

In aggiunta alle preoccupazioni legate alla complessità, negli anni Settanta, la traduzione automatica era lontana dall’essere realizzabile e, come detto precedentemente, le reti neurali erano state stroncate da Minsky e Papert nel 1969. L’effetto di tutto ciò fu che i finanziamenti per la ricerca negli Stati Uniti vennero drasticamente ridotti. Confermando la scelta del definanziamento, James Lighthill (1924-1998) in Gran Bretagna, in un rapporto del 1973 al British Science Research Council sullo stato della ricerca in intelligenza artificiale, concluse che in nessuna area le scoperte fatte fino ad allora avevano prodotto il grande impatto che era stato promesso. Il rapporto convinse il decisore politico a prosciugare i finanziamenti alla ricerca.

A dire il vero l’Italia, non essendo ancora iniziata la stagione dell’intelligenza artificiale, non si accorse del primo inverno.

Nel 1979 venne fondata negli Stati Uniti la AAAI “The American Association for Artificial Intelligence”, associazione estremamente attiva che, dal 1980, ha tenuto una conferenza annuale molto qualificata, e altri convegni periodici. La AAAI ha conservato l’acronimo ma ha cambiato il nome in “The Association for the Advancement of Artificial Intelligence” e ha fatto un grande sforzo per diventare internazionale. La ricerca italiana è molto rappresentata ai congressi annuali dell’AAAI e, senza contare i ricercatori italiani con affiliazione estera, attualmente l’Italia ha quattro AAAI fellows.

Gli anni Ottanta

A ribadire il fatto che in Italia le attività di ricerca in intelligenza artificiale e informatica teorica si sono sviluppate insieme, ricordiamo qui la giornata di lavoro AICA intitolata *Intelligenza Artificiale e fondamenti dell’Informatica*, tenuta a Torino il 20 maggio 1980, i cui atti sono stati pubblicati – a cura di Mario Coppo e Mariangiola Dezani Ciancaglini – in un numero speciale della Rivista di Informatica²⁴.

24. Vol XI, supplemento al n.3, novembre 1981.

KR&R Ragionamento con conoscenza incompleta e gestione dei cambiamenti

Negli anni Settanta, gli Stati Uniti e il Canada produssero molti risultati derivanti dalla ricerca su vari formalismi per la rappresentazione della conoscenza. Le più studiate e usate sono state le reti semantiche, introdotte da Ross Quillian verso la fine degli anni Sessanta, che sono dei grafi in cui i nodi e gli archi rappresentano, rispettivamente, entità e relazioni tra le entità. Le reti semantiche si basavano sull'idea che sfruttando la struttura del grafo, si potesse semplificare la deduzione utilizzando meccanismi di ereditarietà e sussunzione²⁵. Accanto alle reti semantiche sono stati introdotti i *frame*. I *frame*, proposti da Minsky, sono strutture di dati che raccolgono tutta l'informazione importante su un individuo o su un concetto. I *frame* e le reti semantiche sono stati combinati in un unico formalismo per descrivere un'ontologia, un insieme di concetti e le relazioni che possono esistere per un agente o una comunità di agenti. Le ontologie sono spesso equiparate alle gerarchie tassonomiche di classi, alle definizioni di classi e alla relazione di sussunzione (Guarino, Oberle, e Staab 2009).

Negli anni Settanta, le reti semantiche e i *frame* venivano contrapposti alla logica, come formalismo di rappresentazione della conoscenza; la logica, infatti, era considerata inutilizzabile in intelligenza artificiale per vari motivi. Vedremo, nel prossimo paragrafo, la ricerca fatta sulle logiche descrittive; qui ci si occupa invece della ricerca sviluppata per rispondere alle obiezioni sulla logica matematica come strumento per modellare un ambiente soggetto a cambiamenti.

Una delle obiezioni all'uso della logica matematica (classica) per la rappresentazione della conoscenza in intelligenza artificiale era il fatto che, essendo essa pensata per descrivere verità matematiche, non è adeguata a rappresentare e fare deduzioni in situazioni dinamiche. Mentre in matematica l'insieme delle formule dimostrate vere può solo crescere in maniera monotona nel tempo, in intelligenza artificiale non vale la monotonia: qualcosa dimostrato vero in una certa base di conoscenza può diventare falso in virtù di nuova conoscenza che si aggiunge alla precedente.

Nel 1980 fu pubblicato un numero speciale dell'Artificial Intelligence Journal (AIJ) vol 13 (1-2) sul ragionamento non monotono, con – tra gli altri – articoli di John McCarthy, Raymond Reiter (1939-2002) e Richard Weyhrauch, che ebbero un forte impatto sulla ricerca italiana. McCarthy proponeva la *circumscription*, Reiter la logica dei *default*, Weyhrauch descriveva il già menzionato sistema di dimostrazione automatica di teoremi FOL, basato sulla logica del primo ordine.

La *circumscription* è una logica non monotona che formalizza il presupposto del buon senso, secondo il quale le cose sono come previste se non diversamente specificato. McCarthy realizza la *circumscription* aumentando la logica del primo ordine per consentire la minimizzazione dell'estensione²⁶ di alcuni predicati.

25. Per esempio: se Bobi è una istanza del nodo cane, Bobi erediterà tutte le proprietà dei cani, ed essendo il nodo cane collegato al nodo mammifero, Bobi erediterà anche alcune delle proprietà dei mammiferi.

26. L'estensione di un predicato è l'insieme di tuple di valori su cui il predicato è vero.

La minimizzazione è simile all'assunzione del mondo chiuso secondo cui ciò che non si sa essere vero è necessariamente falso.

La logica dei *default* di Reiter consiste nell'aggiunta di regole di inferenza per gestire la mancanza di informazione. Le regole di *default* hanno una premessa P, una giustificazione G e una conclusione C. La regola dice che se P è vero e non abbiamo informazioni che ci dicano che G è falso, allora possiamo concludere C²⁷.

Negli anni successivi i formalismi descritti furono oggetto di un'intensa attività di ricerca. Introdotti con lo scopo di semplificare le deduzioni (con una sorta di "Jump to conclusions"), nei fatti si sono dimostrati ben poco adatti alla semplificazione.

Alla Sapienza di Roma, l'analisi delle proprietà delle tecniche di ragionamento non monotono da parte di Marco Cadoli (1965-2006)²⁸, Francesco Donini e Marco Schaerf (e dei loro studenti), iniziata negli anni Ottanta, ha avuto un grande sviluppo nel decennio successivo. I risultati negativi degli studi sulla complessità del ragionamento non monotono hanno portato ad approfondire lo studio di tecniche di approssimazione nel ragionamento (Schaerf e Cadoli 1995), l'analisi delle implicazioni dell'alto livello di complessità (Cadoli, Donini, e Schaerf 1996), lo studio di algoritmi efficienti per problemi computazionalmente complessi, come le formule booleane quantificate (Cadoli, Giovanardi, e Schaerf 1996) e l'efficienza in termini di spazio (Cadoli et al. 2000).

Altre ricerche sulle logiche non monotone sono state fatte a Roma (Amati et al. 1996; Amati, Carlucci Aiello, e Pirri 1997), Napoli (Reiter e Crisculo 1981; Crisculo e Minicozzi 1999) e a Torino (Giordano e Martelli 1994).

Il sistema FOL di Weyhrauch consentiva la rappresentazione di diverse teorie (cioè di diversi contesti di conoscenza), permettendo di rappresentarne la sintassi e la semantica. Inoltre, la rappresentazione e l'uso esplicito di meta-conoscenza e la riflessione tra contesto meta e contesti di livello oggetto, si prestava a molte applicazioni, tra le quali la rappresentazione del ragionamento e l'interazione di più agenti.

Il FOL è stato implementato in tre sedi in Italia: La Sapienza di Roma, Napoli e IRST²⁹ di Trento. A Roma fu utilizzato, in particolare, per il ragionamento in situazioni di agenti multipli (Carlucci Aiello, Nardi, e Schaerf 1988) e in applicazioni agli ITS - Intelligent Tutoring Systems (Carlucci Aiello, Cialdea, e Nardi 1991). A Napoli, Eliana Minicozzi e Giovanni Crisculo hanno importato il FOL, riferendo della loro implementazione nel corso di convegni nazionali³⁰. All'IRST, Fausto Giunchiglia ha importato il FOL e lo ha implementato ed esteso in una versione chiamata GETFOL (Giunchiglia e Traverso 1991).

27. Ad esempio, se Titti è un uccellino (P) e non si sa che ha un'ala rotta (G), allora si può concludere che Titti vola (C).

28. La morte prematura di Marco Cadoli nel 2006 ha segnato la comunità italiana e internazionale, come ricordato in (Lenzerini e Schaerf 2013; Eiter e Gottlob 2013).

29. L'IRST, Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, faceva capo all'Istituto Trentino di Cultura (ITC), ora ridenominato FBK, Fondazione Bruno Kessler.

30. Si veda nel seguito la partecipazione di Napoli al progetto IA:ASSI.

Parlando di meta-conoscenza e riflessione non possiamo non menzionare un workshop organizzato ad Alghero a dieci anni dalla prematura scomparsa di Mario Aiello, co-autore della già menzionata prima implementazione di meta in FOL (Aiello M. e Weyhrauch 1975), che ha visto la presenza di ricercatori nord americani, europei e italiani; gli atti sono pubblicati in (Maes e Nardi 1986).

Nell'ottobre del 1986, l'IEEE pubblicò un numero speciale della sua rivista *Proceedings of the IEEE* dedicato alla rappresentazione della conoscenza, con una dozzina di contributi da Nord America ed Europa, di cui due articoli di ricercatori italiani: il primo (Aiello L., Cecchi, e Sartini 1986) sulla rappresentazione e l'uso di meta-conoscenza e il secondo (Attardi e Simi 1986) su Omega come formalismo di rappresentazione di tassonomie, una anticipazione delle logiche descrittive.

Negli anni Ottanta sono nati alcuni convegni internazionali specifici su KR&R. Menzioniamo qui solo le conferenze che si sono svolte e si svolgono ancora con regolarità: *NMR* e *KR*.

Il primo workshop su Non Monotonic Reasoning (NMR) è stato tenuto nel 1984 da Reiter a New York e non sono stati pubblicati gli atti. La ricerca italiana non era presente. Nelle successive edizioni la presenza italiana è cresciuta ed è rimasta costantemente alta.

Il primo *KR* si tenne a Toronto nel 1989 (curatori degli atti: Ronald J. Brachman, Hector J. Levesque, Raymond Reiter) e non ci furono articoli provenienti dall'Italia. La situazione cambiò drasticamente nelle edizioni successive: *KR* divenne il luogo di elezione per la comunicazione della ricerca italiana in KR&R, fino alla ventesima edizione, tenutasi nel 2023 a Rodi. Costante la presenza di molti articoli italiani ed anche la presenza di molti italiani tra i presidenti del comitato di programma e curatori degli atti: Pietro Torasso nel 1994, Luigia Carlucci Aiello nel 1996, Fausto Giunchiglia nel 2000 e nel 2002, Giuseppe De Giacomo nel 2014, e infine Diego Calvanese nel 2015.

Arrivano i personal computer, le workstation e i sistemi esperti

Gli anni Ottanta sono stati caratterizzati da molti avanzamenti ed eventi importanti, nel mondo e in Italia.

Innanzitutto, all'inizio degli anni Ottanta, incominciarono a comparire sul mercato i computer da scrivania (personal computer e workstation) o da grembo (laptop) per uso personale. L'Italia, ancorata all'idea del grande computer nel centro di calcolo, stentò ad accettarli, ma le prestazioni messe a disposizione dei ricercatori e il contestuale sviluppo di internet, che arrivò in Italia nel 1986, rivoluzionarono il rapporto col computer e con il calcolo anche nel nostro Paese.

Il GPS di Newell e Simon aveva deluso. Negli anni Settanta aveva cominciato a imporsi, ed esplose negli anni Ottanta, un cambio di paradigma. Come anticipato, si era passati dall'intelligenza generale nello stile GPS, al KBS, "Knowledge Based System", sistema che risponde a domande su un dominio di conoscenza limitato. Le risposte si basano sulla conoscenza del dominio, in particolare la conoscenza degli esperti (da cui il nome con cui divennero popolari: "sistemi esperti"). Con l'affermarsi dei sistemi esperti

vennero messi a punto ambienti software per il loro sviluppo, gli *shell*, e metodologie che presero, nel loro complesso, il nome di "ingegneria della conoscenza" (per distinguerla dalla ben più popolare "ingegneria del software"). Intorno agli *shell* è fiorito un grande successo industriale, nell'aspettativa che, con gli strumenti giusti, fosse quasi un gioco da ragazzi costruire un sistema esperto per ogni dominio applicativo. Invece la costruzione dei sistemi esperti è rimasta sempre un lavoro delicato, lungo, tedioso e da veri esperti (e non solo del dominio).

Possiamo affermare che alcuni sistemi esperti siano stati davvero di successo, basti pensare a PROSPECTOR, sviluppato all'SRI International che, nel 1979, salì all'onore delle cronache. In prima pagina il New York Times pubblicò un articolo che riportava come un "computer program" fosse stato in grado di localizzare, nel nord ovest degli Stati Uniti, un giacimento di molibdeno che i geologi non erano riusciti a localizzare, nonostante ne avessero ipotizzato da almeno venti anni l'esistenza.

Altro sistema esperto di grande successo fu R1. Sviluppato al CMU su richiesta della DIGITAL, con l'obiettivo principale di controllare la configurazione degli ordini di computer prima della spedizione, e di ridurre le spese del personale addetto.

Contemporaneamente al successo dei sistemi esperti, sul fronte dei linguaggi di programmazione, il LISP che, negli anni Settanta, aveva visto molte estensioni e molti "dialetti" si solidificò nella versione detta CommonLISP, un linguaggio multiparadigma per il quale all'MIT venne anche sviluppata una workstation specifica: la LISP-Machine. Macchina poi commercializzata da Symbolics e successivamente, in una diversa versione, da Texas Instruments con il nome di Explorer. Dalla Xerox venne commercializzata la LISP-Machine prodotta al PARC e basata su Interlisp-D. L'avvento di queste macchine è stato molto importante per la moltiplicazione di laboratori che avevano strumenti adatti a sviluppare applicazioni di intelligenza artificiale. In particolare, in Italia le LISP-Machine della Symbolics sono state distribuite dalla Delphi, start-up pisana fondata da Attardi insieme a Maria Simi, ai quali si è aggiunto Prini, che ha ampliato i prodotti con le Sun workstation. La Delphi ha operato dal 1982 al 1993 quando è stata acquisita da Olivetti.

L'industria nata negli Stati Uniti (e poi diffusasi in Europa) intorno ai sistemi esperti, agli *shell* e all'hardware per l'intelligenza artificiale però ha avuto vita breve, per una serie di motivi troppo lunghi da analizzare qui³¹ e che hanno portato al secondo inverno dell'intelligenza artificiale a cavallo tra la fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta.

Parlando di linguaggi per l'intelligenza artificiale non possiamo tralasciare il Prolog. Nato negli anni Settanta a opera di Robert Kowalski e Alain Colmerauer (1941-2017), si è rapidamente imposto come linguaggio dichiarativo per eccellenza, quindi particolarmente adatto per la soluzione automatica di problemi di intelligenza artificiale. Il Prolog ha avuto un grande riscontro nella comunità italiana³² e internazionale. In particolare, il successo dei sistemi basati sulla conoscenza e del Prolog hanno portato il Giappone, fino a quel momento spettatore ma non partecipe della ricerca in intelligenza artificiale

31. Si rimanda per esempio a (Carlucci Aiello, e Dapor 2004).

32. Si veda anche il contributo "Linguaggi di programmazione" nel presente volume.

(i giapponesi erano invece già attivi negli anni Settanta nella robotica antropomorfa) a lanciare un ambizioso programma decennale chiamato FGCS (Fifth Generation Computer Systems) di calcolatori di quinta generazione. Si trattava di un'architettura innovativa, presentata a Tokyo nell'ottobre del 1981 dal Japan Information Processing Development Center (JIPDEC).

Doveva essere un hardware superpotente con una architettura specializzata per il Prolog e la costruzione di sistemi di intelligenza artificiale basati sulla conoscenza, la cui potenza veniva misurata in LIPS - Logical Inferences Per Second.

Il FGCS è stato molto importante perché ha portato il Giappone sulla scena della ricerca in intelligenza artificiale e ha spinto altri paesi a lanciare progetti ambiziosi.

I progetti nazionali

Tornando in Italia, negli anni Ottanta il Ministero della pubblica istruzione lanciò un bando cui fu associato il nome un po' criptico: MPI40%, per finanziare progetti di ricerca di interesse nazionale³³. Furono avviati diversi progetti legati all'AI descritti in altri contributi presenti in questo volume quali, ad esempio, "Robotica", "Linguaggi di programmazione" e "Apprendimento automatico". L'autrice del presente contributo fu coordinatrice nazionale di un primo progetto nel periodo 1982-1985, intitolato Metodi e Tecniche dell'Intelligenza Artificiale, con unità operative in 12 università italiane. L'esperienza, di successo, generò un secondo progetto, nel periodo 1985-1988, Intelligenza Artificiale: Architetture Software per Sistemi Intelligenti (IA:ASSI), le cui unità operative provenivano da 17 università italiane. L'entità del finanziamento per IA:ASSI fu di circa 200 milioni di lire l'anno per un gruppo di 118 ricercatori, quindi piuttosto modesta e non tale da reindirizzare la ricerca dei proponenti verso ambiziosi obiettivi comuni. Di contro il finanziamento consentì la costituzione di un gruppo che, grazie al progetto, organizzò incontri annuali per raccontarci cosa avevamo fatto e pubblicato quell'anno.

Un workshop di IA:ASSI si tenne a Milano nel 1986, e uno a Roma nel 1987. In entrambi i casi fu organizzato congiuntamente con il Progetto Strategico intelligenza artificiale lanciato dal CNR e nel corso della prima giornata dei lavori fu aperto ai soci del GLIA.

Il Progetto Strategico intelligenza artificiale del CNR, affiancato ad ASSI e coordinato da Oliviero Stock, fornì supporto alle ricerche in intelligenza artificiale all'interno del CNR, traendo vantaggio dalla sua multi-disciplinarietà. Il progetto aveva unità attive in vari istituti, oltre ai già menzionati IIEI, CNUCE e ILC di Pisa, erano coinvolti l'Istituto di Psicologia e l'Istituto di Analisi dei Sistemi ed Informatica di Roma, l'Istituto di Cibernetica di Arco Felice (Napoli), l'Istituto per la Scienza dei Sistemi e l'Ingegneria Biomedica di Padova e infine il Centro Studi di Trento. I temi erano KR&R, NLP, planning, robotica e metodologie per sistemi esperti. Dal punto di vista organizzativo intendeva contribuire a creare una comunità nazionale, d'intesa con il coordinamento del progetto universitario.

33. Si chiamavano MPI40%, perché i progetti di interesse nazionale assorbivano il 40% del finanziamento per la ricerca del Ministero.

Per dare un'idea della vastità dei temi trattati in IA:ASSI elenchiamo nel seguito le sedi in ordine alfabetico, i coordinatori locali (tra parentesi il numero di ricercatori afferenti all'unità) e poche parole chiave che qualificano la ricerca rendicontata nel corso della riunione annuale.

- Università di Ancona, Mauro Di Manzo (9)
Visione, sistemi esperti per applicazioni didattiche.
- Università di Bari, Erminia Vaccari (4)
Architetture per programmazione logica, simulazione e intelligenza artificiale: modelli qualitativi, sistemi esperti.
- Università di Bologna, Giorgio Casadei (11)
Estensioni del Prolog, sistemi esperti per applicazioni didattiche.
- Università di Firenze, Giovanni Soda (4)
Ambienti per l'acquisizione e rappresentazione della conoscenza.
- Università di Genova, Pier Paolo Puliafito (10)
Sistemi percettivi, sistemi esperti, ragionamento qualitativo.
- Politecnico di Milano, Marco Somalvico (6)
Architetture per sistemi esperti, NLP, sistemi esperti per applicazioni didattiche, sistemi di recupero da emergenze per robot.
- Università di Milano, Stefano Cerri (4)
Modellazione concettuale, supporti all'apprendimento, architetture multiagente per soluzione automatica di problemi.
- Università di Napoli, Francesco Lauria (6)
NLP, estensioni del sistema FOL, reti neurali per controllo di un braccio robotico.
- Università di Padova, Enrico Pagello (4)
Logica temporale e ragionamento causale in ambienti multiagenti, applicazioni robotiche, NLP.
- Università di Palermo, Salvatore Gaglio (8)
Ragionamento qualitativo, rappresentazioni geometriche, integrazione di rappresentazioni logiche e analogiche; applicazioni in vari domini.
- Università di Pisa Lettere, Giacomo Ferrari (4)
NLP, grammatiche, comprensione dei piani dell'utente.
- Università di Pisa Scienze, Maria Simi (6)
Applicazione di tecniche di intelligenza artificiale ad ambienti di programmazione, NLP, sviluppi del linguaggio OMEGA.
- Università di Roma La Sapienza, Luigia Carlucci Aiello (10)
Programmazione logica, formalismi per la rappresentazione della conoscenza e deduzione automatica, sistema esperto per diagnosi medica, NLP.
- Università di Salerno, Eduardo Caianiello (4)
Reti booleane, reti neurali, apprendimento in reti neurali.
- Università di Torino, Leonardo Lesmo (14)
Rappresentazione della conoscenza incerta, acquisizione della conoscenza, NLP, apprendimento automatico, sistemi esperti per diagnosi.

- Università di Trento, Mauro Boscarol (4)

Sistemi esperti per applicazioni di fisica, programmazione logica e Prolog.

- Università di Udine, Giovanni Guida (11)

Modellizzazione dell'utente, NLP, programmazione logica.

Le unità sono evolute nel tempo, nelle varie sedi sono emersi nuovi ricercatori e nuovi filoni di ricerca. Alcuni coordinatori (e membri) hanno cambiato sede negli anni successivi. L'unità dell'Università di Trento è cambiata completamente, evolvendo in stretto contatto con i ricercatori dell'IRST. Il termine "sistemi esperti" è scomparso dal vocabolario della ricerca, anche se l'esperienza fatta in quegli anni ha indirizzato e influenzato le scelte successive. Il lavoro di alcune di queste unità viene approfondito qui di seguito o riportato in altri contributi in questo volume.

Per quanto riguarda la sede di Torino, tralasciando le questioni relative a NLP e all'apprendimento (rimandando ai corrispondenti contributi in questo volume), si descrive il lavoro di Alberto Martelli, il quale, dopo una ricca produzione negli anni pisani al Dipartimento di Informatica, ha creato un Gruppo di Ricerca su Prolog e su Logiche per intelligenza artificiale, in particolare logiche per il ragionamento di default (Giordano e Martelli 1994) e logiche temporali per rappresentare azioni e cambiamenti (Baldoni et al. 2004; Giordano e Martelli 2006).

Sempre presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino, a partire dagli anni Ottanta, Pietro Torasso e i suoi allievi hanno studiato e formalizzato i processi di ragionamento alla base della diagnostica, intesa come la capacità di trovare le migliori spiegazioni per un insieme di fenomeni osservati (Console e Torasso 1991; Brusoni et al. 1998). L'attenzione si è concentrata sul ragionamento causale e sulle relazioni del ragionamento abduttivo con altre forme di ragionamento (Console, Theseider Duprè, e Torasso 1991). La ricerca fondazionale, accompagnata da applicazioni in diversi ambiti, si è focalizzata su sistemi model-based, ovvero quelle situazioni in cui la conoscenza del sistema da diagnosticare si basa su un modello oggettivo (ad esempio un modello della struttura di un motore di un'auto, la funzione e il comportamento corretto dei suoi componenti e le tipologie di guasti che tali componenti possono avere). Le applicazioni sono state sviluppate in ambito medico, automotive, aerospazio e dei sistemi software (Console e Dressler 1999).

Fin qui ci è occupati solo marginalmente della industria italiana e dei centri di ricerca industriale. Entrambi gli ecosistemi, negli anni Ottanta, erano attivi su diversi aspetti dell'Intelligenza Artificiale. Tra i centri di ricerca industriale ricordiamo lo CSELT a Torino, culla della ricerca italiana sull'analisi e la generazione del linguaggio parlato. CSELT, anche grazie a Renato De Mori, stimolò la ricerca su NLP e apprendimento automatico al Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino.

L'Olivetti, negli anni Ottanta, ha svolto una significativa attività di ricerca focalizzata sulle tecnologie per lo sviluppo di sistemi esperti, in particolare sul porting su PC e sistemi Olivetti di linguaggi e strumenti per intelligenza artificiale. L'attività si è svolta principalmente presso il centro OATC (Olivetti Advanced Technology Center) di Cupertino (California) dove, tra il 1984 e il 1990, ha operato il Laboratorio di intelligenza artificiale, sotto la direzione di Piero Scaruffi³⁴.

34. Si veda anche il contributo sull'Informatica Olivetti nella Seconda parte di questa opera.

Il laboratorio, in collaborazione con l'Università di Stanford, ha sviluppato diversi sistemi, utilizzati in progetti in collaborazione con Tecsiel e in applicazioni prototipali installate presso qualificati clienti italiani.

I sistemi sviluppati, nel periodo in esame, sono stati mostrati nel padiglione Olivetti della mostra industriale svoltasi a Milano nel 1987, organizzata in concomitanza con l'IJCAI87, di cui si tratterà più diffusamente nel seguito.

Tra le aziende ricordiamo anche la Elsas, per la quale Luigi Stringa (1939-2000) ha diretto il progetto del primo processore parallelo commerciale: EMMA (Elaboratore Multi Mini Associativo)³⁵. Una delle applicazioni più significative per Elsas è stata SARI (Sistema Automatico di Riconoscimento Indirizzi), uno dei primi sistemi di riconoscimento di caratteri implementato per lo smistamento della posta tramite la lettura del codice di avviamento postale e la sua transcodifica in una serie di barrette verticali fluorescenti.

Stringa, dopo aver ricoperto la carica di amministratore delegato del gruppo Selenia-Elsag, nel 1985 fu chiamato a Trento come direttore dell'IRST, che, sotto la sua direzione, è diventato uno dei maggiori centri di ricerca italiani in intelligenza artificiale. Stringa, a metà anni Ottanta, lanciò all'IRST il progetto del robot MAIA, estremamente ambizioso e avanzato per quegli anni. Varie circostanze fecero sì che MAIA fosse realizzato solo in parte, ciononostante, pur con alterne vicende, l'IRST ha mantenuto un ruolo importante nella ricerca in intelligenza artificiale. Stringa, infatti, con l'obiettivo di affrontare vari aspetti della costruzione di MAIA, convogliò a Trento ricercatori di spessore, i quali, a loro volta, hanno costituito ulteriori gruppi di ricerca, grazie ai quali l'IRST è diventato un centro di attrazione per ricercatori qualificati e per grandi progetti nazionali e internazionali. Importante la ricerca fatta sulla comprensione del parlato, quella di Oliviero Stock sul Natural Language Processing³⁶, quella sulla verifica basata su modelli, e quella sulla pianificazione automatica (Cimatti, Roveri, e Bertoli 2004; Cimatti, Pistore, e Traverso 2008; Gallab, Nau, e Traverso 2016).

Molto importante nel determinare le sorti della ricerca in intelligenza artificiale in Italia fu, nel 1983, il lancio da parte dell'Unione Europea di ESPRIT "European Strategic Programme on Research in Information Technology". ESPRIT ha finanziato una serie di programmi di ricerca e sviluppo nelle tecnologie dell'informazione e di misure di trasferimento tecnologico industriale fino al 1998. Molte università e aziende italiane hanno partecipato a progetti ESPRIT in consorzi con università e industrie europee. La collaborazione ha favorito il progressivo consolidamento della cooperazione tra gruppi di ricercatori di varie nazioni europee ed ha fortemente influenzato il corso delle ricerche in intelligenza artificiale. Il numero considerevole di progetti finanziati rende impossibile poterli descrivere in un breve documento.

Agli inizi degli anni Ottanta, le varie comunità europee di ricercatori in intelligenza artificiale crearono un coordinamento stabile tra le associazioni nazionali. Nacque così, nel 1982 lo European Coordinating Committee for Artificial Intelligence (ECCAI). L'Italia entrò a farne parte col GLIA. Il primo presidente di ECCAI, dal 1982 al 1986, fu Wolfgang Bibel; il primo segretario fu Stefano Cerri, a quei tempi ricercatore

35. Si veda anche il contributo su Elsas nella Seconda parte di questa opera.

36. Si veda il contributo su "Natural Language Processing in Italia: gli inizi" in questo volume.

L'Intelligenza Artificiale ha raggiunto oggi il livello di un fenomeno tecnologico non ignorabile. Chiari segnali in tal senso vengono dai laboratori di ricerca e sviluppo dei paesi industrializzati. Il motivo di tale interesse è non certo il suo impatto diretto sul mercato, ma piuttosto la sua valenza strategica quale catalizzatore e acceleratore dello sviluppo in diversi settori della produzione e dei servizi.

L'Intelligenza Artificiale è quindi un ulteriore fattore discriminante fra paesi industrializzati: motivo di progresso e di sfida per chi ne possiede le tecniche, ragione di dipendenza tecnologica per chi non abbia tempestivamente acquisito metodologie e strumenti.

Passo preliminare per prendere decisioni e pianificare interventi, sia in grande a livello di paese che in piccolo a livello di singola impresa, è aver acquisito la capacità di valutare la situazione presente, le opportunità, i rischi. E per questo è ancor prima necessario conoscere.

Tanto più in un'area quale l'Intelligenza Artificiale, in cui la diffusione delle informazioni è spesso caratterizzata da ingiustificati scetticismi e troppo ottimistici entusiasmi.

Per questo si è ritenuto opportuno realizzare questo volume dedicato a far conoscere una tecnologia ed il suo reale livello di diffusione e di impatto concreto nel mondo produttivo del nostro paese.

La pubblicazione di un libro, anche se rappresenta il risultato di uno sforzo organizzativo e culturale non indifferente, non è mai però un punto di arrivo; vuole piuttosto essere uno stimolo all'avvio di una riflessione razionale e chiara su un fenomeno che, oltre che presentarsi come interessante tema di studio, inizia ad imporsi come concreto complemento dei mezzi produttivi più tradizionali.

ROMANO PRODI

Roma, giugno 1987

Fig. 1 Presentazione di Romano Prodi al Libro bianco sull'Intelligenza Artificiale in Italia.

pisano, che aveva acquisito visibilità internazionale con la sua ricerca sugli ITS - Intelligent Tutoring Systems.

L'ECCAI decise di affidare all'Italia l'organizzazione dell'EC AI, *European Conference on Artificial Intelligence*, congresso europeo di intelligenza artificiale nel 1984, che, organizzato a Pisa da Cerri, ebbe un grande successo.

Successivamente, presidente dell'ECCAI, dal 1992 al 1994, fu Oliviero Stock³⁷.

Intanto, nel corso dell'edizione del 1983, tenuta a Karlsruhe, si decise che *IJCAI87* si sarebbe organizzato a Milano, con il coordinamento di Somalvico, il quale fece un grande lavoro preparatorio e di sensibilizzazione, coinvolgendo la stampa nazionale, in un periodo in cui la divulgazione scientifica e il giornalismo scientifico in Italia erano praticamente inesistenti.

Con l'obiettivo di coinvolgere la comunità scientifica italiana e portare l'Intelligenza Artificiale all'attenzione del grande pubblico, Somalvico organizzò un convegno a Saint Vincent il 21 febbraio 1987 dove Jader Iacobelli (1918-2005) – giornalista molto noto e stimato per il suo spessore culturale e il suo equilibrio – moderò una nutrita tavola rotonda con circa 30 partecipanti, i cui interventi sono stati pubblicati nel tascabile *Aspettando Robot* (Jacobelli 1987), ancor oggi una interessante lettura.

L'imminenza del congresso *IJCAI87* fu anche lo stimolo per completare la stesura e la pubblicazione del libro bianco sull'Intelligenza Artificiale in Italia (Guida e Incerti 1987). Iniziato qualche anno prima con il patrocinio dell'AICA, il libro bianco fu completato grazie a un significativo coinvolgimento dell'IRI³⁸ e uscì con una incisiva presentazione di Romano Prodi che, in quegli anni, dell'IRI era il Presidente, e che viene riportata in Fig. 1.

Il libro bianco presenta un quadro molto realistico dello stato della ricerca in intelligenza artificiale in Italia in quegli anni, l'atteggiamento di interesse e scetticismo dell'industria e del mercato, la necessità di approfondire l'utilizzo di una tecnologia trasversale che si prevedeva avrebbe impattato in vario modo tutti i settori produttivi, economici e sociali. Venivano inoltre forniti dati accurati di un censimento dei gruppi accademici ed industriali attivi all'epoca, con un invito a ripetere l'esperienza del censimento e della pubblicazione di un quadro sullo stato della intelligenza artificiale in Italia, in quanto la situazione veniva correttamente descritta come in rapida evoluzione.

IJCAI87 a Milano, fu davvero un successo, con una grande partecipazione dall'Italia e dall'estero, con una nutrita mostra industriale e con la memorabile serata alla Scala, che, per molti partecipanti, è probabilmente rimasta l'unica occasione di varcare la soglia del grande teatro milanese. Il successo però fu soprattutto caratterizzato dalla risonanza che la ricerca italiana ebbe grazie a una decina di articoli in un largo spettro di aree di ricerca dell'intelligenza artificiale.

37. La segreteria dell'ECCAI per buona parte degli anni Novanta fu presso l'IRST di Trento.

38. L'IRI (Istituto per la Ricostruzione Industriale) è stato un ente pubblico economico con funzioni di politica industriale. Fondato nel 1933, ha avuto un importante ruolo nella crescita industriale italiana nel dopoguerra, è stato messo in liquidazione nel 2000. Romano Prodi ne fu presidente dal 1982 al 1989 e dal 1993 al 1994.

Contare il numero di articoli italiani presentati ad *IJCAI* nel corso degli anni sarebbe un esercizio troppo lungo. *IJCAI*, a partire dal 2015, è diventato annuale e riceve/accetta molti più articoli che in passato. Nell'edizione del 2023 gli articoli con almeno un autore italiano hanno superato la ventina, senza contare gli articoli di autori italiani con affiliazione all'estero.

La ricerca italiana oltre a contribuire a *IJCAI* con articoli, ha contribuito con Trustees che si sono succeduti negli anni nella organizzazione delle conferenze: Luigia Carlucci Aiello (1995-2005), Fausto Giunchiglia (2001-2011), Francesca Rossi (2009-2017) e Diego Calvanese (2023-2028).

Nascita dell'AIxIA: Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale

In Italia negli anni Ottanta erano cresciute sia la comunità di ricerca, sia la necessità di creare legami con le associazioni sovranazionali di intelligenza artificiale, per cui il 23 febbraio 1988 fu fondata l'AIxIA "Associazione Nazionale per l'Intelligenza Artificiale"³⁹.

L'Assemblea costituente si tenne a Roma, in una sala del rettorato della Sapienza. Erano presenti circa ottanta persone; fu predisposto lo statuto, scelto un direttivo e il primo presidente, con mandato biennale rinnovabile, ma con l'intesa di applicare la regola della rotazione ogni due mandati, per non legare l'associazione a una persona o a una sede. Presidenti dell'AIxIA sono stati:

- Luigia Carlucci Aiello, Roma La Sapienza (1988-1992)
- Oliviero Stock, Trento IRST (1992-1996)
- Pietro Torasso, Torino Università (1996-2000)
- Marco Gori, Siena Università (2000-2004)
- Roberto Serra, Modena e Reggio Emilia Università (2004-2006)
- Marco Schaerf, Roma La Sapienza (2006-2010)
- Paola Mello, Bologna Università (2010-2014)
- Amedeo Cesta, Roma CNR (2014-2018)
- Piero Poccianti, Firenze Consulente (2018-2022)
- Gianluigi Greco, Cosenza Università (2022-presente).

L'Associazione, dalla sua fondazione, ha rappresentato l'Italia dentro ECCAI, ora ridenominato EurAI "European Association for Artificial Intelligence", ha mantenuto

39. Il sito web dell'AIxIA (<https://aixia.it/>) è molto ricco di informazioni, compresa una mappa aggiornata degli ambiti di ricerca degli associati e degli insegnamenti di intelligenza artificiale in Italia.

40. Tra le associazioni nazionali con cui AIxIA ha avuto rapporti di collaborazione si ricordano: AICA, GULP (Gruppo Ricercatori e Utenti Logic Programming), SIREN (Società Italiana Reti Neuroniche), AILA (Associazione Italiana di Logica e sue Applicazioni), AILC (Associazione Italiana di Linguistica Computazionale) e SIPEIA (Società Italiana per l'Etica dell'Intelligenza Artificiale).

rapporti con altre associazioni italiane e sovranazionali, ha organizzato l'*ECAI* a Riva del Garda nel 2006⁴¹ e si appresta a ospitare *ECAI 2025* a Bologna.

Senza contare gli italiani che svolgono la loro ricerca in una istituzione straniera, l'AIxIA in questo momento ha venticinque EurAI Fellows.

L'associazione fin dagli inizi ha posto molta attenzione alla partecipazione dei giovani, ed ha istituito e conferito con regolarità premi per tesi di laurea, dottorato e per giovani ricercatori; è troppo lungo l'elenco dei premiati per riportarlo qui, sta di fatto che molti dei nomi dei premiati si ritrovano nella bibliografia del presente scritto.

L'AIxIA ha sempre visto una attiva partecipazione da parte delle aziende; recentemente le iniziative per le scuole e per le aziende hanno avuto un rinnovato slancio con la presidenza Poccianti.

L'AIxIA, anche considerando la numerosità delle aree in cui si articola la ricerca in intelligenza artificiale, negli anni ha favorito la creazione di gruppi di lavoro tematici, attualmente una dozzina, generalmente molto attivi, che contribuiscono con workshop specifici alla costruzione dei convegni dell'associazione.

L'AIxIA ha organizzato, sin dalla fondazione, un convegno annuale. La forma è cambiata nel tempo per adeguarsi all'evolversi del contesto nazionale ed internazionale, ma la qualità scientifica è sempre stata di livello internazionale, come confermato dalla pubblicazione degli atti nelle Lecture Notes della Springer Verlag.

Val la pena di ricordare qui solo i primi tre convegni: ad Ancona nel 1988 il convegno fu conoscitivo e molto informale, nel 1989 il primo congresso fu tenuto all'IRST di Trento, grazie alla ospitalità di Luigi Stringa, allora direttore.

Il congresso, di cui la Fig. 2 mostra la copertina degli atti, fu un grande successo e attrasse a Trento molti partecipanti. Furono presentati 42 lavori così suddivisi: undici articoli nelle due sessioni di "Rappresentazione della conoscenza", sei in quella di "Sistemi basati su conoscenza", sette nella sessione di "Ragionamento automatico", cinque in quella di "Risoluzione di problemi e architetture", cinque in quella di "Elaborazione del linguaggio naturale", quattro nella sessione di "Visione e Robotica", e quattro in quella di "Apprendimento automatico". Ci fu anche una nutrita mostra industriale.

Il secondo convegno fu tenuto al CNR, a Roma nel 1990. Il comitato organizzatore era costituito da Renato Petrioli della Fondazione Ugo Bordoni (coordinatore), Sandro Incerti della Tecsiel, Maurizio Lenzerini dell'Università di Roma La Sapienza e Domenico Saccà dell'Università della Calabria. Dal volantino di annuncio – di cui la Fig. 3 mostra il fronte e la Fig. 4 mostra il retro con il programma – si può apprezzare il calibro degli oratori intervenuti, quindi l'interesse che suscitò nei soci.

L'AIxIA fin dalla fondazione iniziò la pubblicazione del notiziario "AIxIA Notizie" che, ancorché gestito in maniera molto artigianale agli esordi, ebbe la sua regolarità e fu molto utile ai soci. La comunicazione con strumenti digitali ha fatto cadere l'interesse nei notiziari cartacei, per cui l'AIxIA ha sospeso la pubblicazione di AIxIA

41. L'anno 2006 ha visto la celebrazione dei Cinquanta anni del seminario di Dartmouth; l'AIxIA l'ha celebrato con un numero speciale della rivista *Intelligenza Artificiale* (reperibile in <https://aixia.it/en/rivista/>). Ha visto anche la celebrazione di un compleanno importante dell'autrice di questo contributo con il libro edito da Springer Verlag e curato da Stock e Schaerf, con articoli di tanti amici e colleghi (Stock e Schaerf 2006).



Fig. 2 Copertina degli atti del primo congresso AIxIA tenuto a Trento nel 1989.

Notizie e dal 2004 è passata a pubblicare la rivista internazionale *Intelligenza Artificiale*. Dal 2011 la rivista è edita da IOS Press, ne sono stati Editor in Chief: Oliviero Stock (2011-2015) e Fabrizio Riguzzi (2016-presente) ed è censita su Scopus.

Gli anni Novanta

La ricerca in Italia è proseguita alacramente, soprattutto grazie ai progetti ESPRIT, che hanno assorbito i vari gruppi italiani in cooperazioni internazionali. I progetti ESPRIT hanno portato a stringere maggiori rapporti con la ricerca europea e hanno salvato i vari gruppi da un periodo di sottofinanziamento nazionale che avrebbe potuto avere gravi conseguenze.

Infatti, avendo constatato il grande valore dei progetti finalizzati del CNR⁴², l'AIxIA si era fatta promotrice della preparazione dello studio di fattibilità per un progetto finalizzato in intelligenza artificiale⁴³. Il CNR approvò la commissione per la stesura dello studio di fattibilità, riconoscendo, formalmente, che il 90% del lavoro istruttorio era stato fatto. La commissione costituita da 15 professori universitari, tre ricercatori CNR, un ricercatore dell'IRST, uno del Centro Ricerche FIAT, uno dello CSELT e inoltre IBM SEMEA, San Giorgio, Ferrovie, Enel, Alitalia e Alenia, dopo un lungo lavoro, nel 1995 presentò un articolato documento di circa 150 pagine al CNR, che, nonostante numerosi solleciti, mai diede riscontri sul suo destino. Peccato, davvero un'occasione persa.

Reti neurali e sistemi complessi

La ricerca in intelligenza artificiale è entrata negli anni Novanta con un rinnovato vigore, forte degli avanzamenti fatti nel decennio precedente sulle reti neurali, che hanno portato al superamento dei risultati negativi circa il loro potere espressivo⁴⁴, e del lavoro di David E. Rumelhart, James E. McClelland e "the PDP Research Group", che aveva portato all'affermazione del paradigma subsimbolico, (subsimbolico in quanto evoca, più che costrutti mentali, alcuni aspetti della struttura del cervello).

L'approccio subsimbolico era destinato ad affermarsi e a portare grandi avanzamenti negli anni Novanta e nel nuovo millennio.

42. I progetti finalizzati del CNR vedevano collaborare università, CNR e aziende, con budget di tutto rispetto. I più vicini come tematiche furono quello in Informatica (si veda il contributo "Il Progetto Finalizzato Informatica" nel volume 1) e quello in Robotica nel presente volume.

43. Il titolo del progetto era "Sistemi di intelligenza artificiale: Sistemi basati sulla conoscenza nell'industria e nei servizi".

44. Sono state proposte reti neurali multistrato, cui sono stati associati sofisticati meccanismi di apprendimento. Inoltre, avendo a disposizione una molto maggiore potenza di calcolo rispetto ai decenni precedenti, il numero di nodi (e di strati) gestibili in una rete neurale è diventato molto alto. Si veda il contributo "Apprendimento Automatico" nel presente volume.

Ricordiamo qui che, in Italia, la ricerca sulle reti neurali è proseguita a Napoli, grazie al gruppo di Caianiello e a Pisa dove, provenendo da Napoli, ha operato – prima al CNR IEI poi all’università – Antonina Starita (1939-2008), allieva di Caianiello e Braitenberg, che con il suo gruppo ha sviluppato reti neurali applicate alla classificazione di strutture complesse (Sperduti, Starita, e Goller 1995; Sperduti e Starita 1997; Bacciu e Starita 2007).

La ricerca sulle reti neurali ha avuto, anche a Firenze, un importante centro di sviluppo, grazie a Giovanni Soda, Paolo Frasconi e Marco Gori (Frasconi, Gori, e Soda 1995; Frasconi, Gori, e Sperduti 1997; Marinai, Gori, e Soda 2005), di cui tratteremo diffusamente nel prossimo paragrafo.

Studi sui sistemi complessi, con particolare attenzione ai sistemi biologici e sociali, sono stati portati avanti da (Serra, Villani, e Agostini 2004; Serra e Zanarini 2013) all’Università di Modena e Reggio Emilia.

Le logiche descrittive

Nell’ambito della KR&R, un lavoro del 1984 di Ronald Brachman ed Hector Levesque mise in luce il conflitto tra il potere espressivo dei sistemi basati su frame e reti semantiche (utilizzati per rappresentare ontologie) e la trattabilità del ragionamento automatico da essi supportato.

Dopo questo lavoro, la ricerca sui linguaggi per la rappresentazione della conoscenza subì un mutamento fondamentale: alle proposte di nuovi linguaggi e di nuove tecniche di deduzione si è affiancata l’analisi della complessità computazionale dei corrispondenti processi di ragionamento.

La ricerca italiana è diventata protagonista di questa indagine alla fine degli anni Ottanta. Maurizio Lenzerini, tornato alla Sapienza di Roma dopo un anno a Toronto, dove aveva lavorato con Levesque, ha posto le basi per un gruppo di ricerca che ha fornito importanti risultati sulle logiche descrittive (*description logics*) e sulla loro complessità computazionale.

Una logica descrittiva è una logica decidibile in grado di rappresentare in modo formale basi di conoscenza strutturate in classi, relazioni e gerarchie di generalizzazione. Oltre a fornire un quadro formale per molti linguaggi utilizzati in intelligenza artificiale, le logiche descrittive hanno il pregio di riunire nella rappresentazione della conoscenza formalismi utilizzati in diverse aree dell’informatica, come le basi di dati, l’ingegneria del software, i linguaggi object-oriented ed altri.

L’Europa ha progressivamente assunto un ruolo guida di questi studi; gruppi di ricerca in Germania, Francia e Regno Unito si sono affiancati al gruppo di Roma (di cui facevano parte Daniele Nardi, Francesco Donini, Marco Cadoli, Andrea Schaerf, Giuseppe De Giacomo e Diego Calvanese). In Italia l’affiancamento riguardò le sedi di Trento, Bolzano, Cosenza, Pisa e Torino. Lavori come (Donini et al. 1992) testimoniano della collaborazione tra gruppi europei e hanno aperto la strada ad indagini sempre più sofisticate sulla complessità dei sistemi per la rappresentazione della conoscenza.

Alla fine degli anni Novanta è emerso un quadro esaustivo del compromesso espres-

sività/complessità in una pletera di famiglie di logiche descrittive, e, contemporaneamente, sono state sviluppate e continuamente aggiornate diverse applicazioni: nel NLP, nei sistemi di configurazione, nella gestione dei database, nell’ingegneria del software e nel web semantico. È stato definito “OWL”, l’Ontology Web Language del World Wide Web Consortium (W3C), vero e proprio standard per la specifica di ontologie. La definizione della semantica di OWL, l’analisi delle sue proprietà computazionali e la proposta dei frammenti trattabili del linguaggio sono derivati direttamente dalla ricerca sulle logiche descrittive condotta nei precedenti venti anni.

Uno dei frammenti trattabili coincide con DL-lite, un elemento della famiglia di logiche descrittive introdotte in (Calvanese et al. 2007) che, insieme al lavoro (Poggi et al. 2008) ha aperto la strada al paradigma dell’“Ontology-based Data Management”, particolarmente rilevante considerando il recente interesse per la “Data-Centric Artificial Intelligence”.

Attivazione della laurea in Ingegneria Informatica

Nel 1989 venne approvata dal Ministero dell’università e della ricerca scientifica e tecnologica (dopo una gestazione a dir poco faticosa) l’istituzione del Corso di laurea in Ingegneria Informatica nella Facoltà di Ingegneria⁴⁵, ben 20 anni dopo l’istituzione del corso di laurea in Scienze dell’Informazione (poi ridenominata Informatica) nella Facoltà di Scienze. Contestualmente venne autorizzata l’istituzione di corsi di insegnamento di intelligenza artificiale. I primi due furono attivati al Politecnico di Milano (tenuto da Somalvico) e a Roma La Sapienza (tenuto da Aiello L.). L’istituzione di corsi di insegnamento ha contribuito significativamente alla formazione di ricercatori italiani in intelligenza artificiale, e la preparazione a livello internazionale dei nostri laureati ha anche dato inizio a una continua esportazione di cervelli, mai bilanciata da un simmetrico flusso di importazione di giovani ricercatori stranieri.

Fondamentale per la didattica dell’Intelligenza Artificiale è stata la pubblicazione nel 1995 del già menzionato libro di Stuart Russell e Peter Norvig AIMA *Artificial Intelligence a Modern Approach*⁴⁶. AIMA, oltre a essere completo nella presentazione delle varie tecniche e metodi introdotti negli anni dai ricercatori in intelligenza artificiale, è stato anche innovativo nel presentare la visione di agente intelligente che soggiace alla costruzione dei sistemi intelligenti, siano essi “agenti software” – detti anche “softbot” – o incorporati in un hardware – quindi “robot” – possibilmente mobili e autonomi. Interessante notare che la “ricomposizione” tra applicazioni software e fisiche è di fatto contemporanea al ricongiungimento della ricerca in intelligenza artificiale e robotica, comportando la conversione di ricercatori in intelligenza artificiale, di solito interessati alla costruzione di softbot, alla ricerca in robotica.

45. Si veda il contributo “Didattica informatica a livello universitario” del volume 1.

46. Il libro AIMA è ormai giunto alla quarta edizione; questa, decisamente aggiornata, è stata pubblicata da Pearson (Russell e Norvig 2020).

SECONDO CONVEGNO DELLA ASSOCIAZIONE ITALIANA PER L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

16 - 17 - OTTOBRE 1990

AULA CONVEGNI DEL CNR, P.LE ALDO MORO, 7 - ROMA





**ASSOCIAZIONE ITALIANA
PER L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE**

IL PATROCINIO DI:

- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
- IMI - ISTITUTO MOBILIARE ITALIANO
- IRI - ISTITUTO PER LA RICOSTRUZIONE INDUSTRIALE
- ISTITUTO SUPERIORE POSTE E TELECOMUNICAZIONI
- MINISTERO DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

CON IL CONTRIBUTO DI:

- CSI PIEMONTE - DIGITAL ITALIA - ELSAG - IRST - ITALTEL - OLIVETTI DIREZIONE RICERCA - SIEMENS DATA - UNISYS ITALIA
- DATITALIA PROCESSING SpA - SIMS-SERVIZI INFORMATICA ENIMONT SpA - TAI-TECHNOLOGIES FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ELENCO PROVVISORIO

ORGANIZZATO DA:



Fig. 3 Volantino del convegno della AIXIA tenuto a Roma nel 1990 (fronte).

PRESENTAZIONE

L'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale - AI*IA - promuove lo sviluppo delle attività di studio e di ricerca nel campo dell'intelligenza artificiale e delle sue applicazioni, curando la pubblicazione e la diffusione di periodici, stimolando le ricerche mediante istituzione di borse e premi, organizzando giornate di studio, congressi e simili. Il Convegno AI*IA è la manifestazione biennale, alternata al Congresso, che ha l'intento di illustrare, con relazioni invitate e dibattiti, il progresso scientifico e tecnico dell'intelligenza artificiale.

L'AI*IA è lieta di invitare tutti gli interessati - ricercatori, produttori ed utenti - al Secondo Convegno. Interverranno sia accademici di elevato valore scientifico, sia autorevoli rappresentanti di istituzioni ed enti italiani ed internazionali responsabili della programmazione della ricerca e della diffusione dell'innovazione tecnologica.

COMITATO DI PROGRAMMA*

Renato Petrioli (coordinatore) - Fondazione Ugo Bordononi

Sandro Incerti - Tecciol
Maurizio Lenzerini - Università di Roma "La Sapienza"
Domenico Saccà - Università della Calabria

ORGANIZZAZIONE E SEGRETERIA DEL CONVEGNO

Fondazione Ugo Bordononi
Via B. Castiglione 59
00142 Roma
Tel. (06) 5480 3391, Fax (06) 5480 4400
Telex 622539

ISCRIZIONE E PRENOTAZIONE ALBERGHIERA

Utilizzare le schede allegate.

16 OTTOBRE 1990

<p>8,00-9,20 Registrazione</p> <p>9,20-9,40 Benvenuto ai partecipanti</p> <p>9,40-10,40 Constrained Heuristic Search M. Fox - Carnegie Mellon University (USA)</p> <p>10,40-11,00 Intervallo</p> <p>Programmi internazionali ed iniziative nazionali - Presiede S. Incerti, Tecciol</p> <p>11,00-11,20 Introduzione del presidente di sessione</p> <p>11,20-12,00 The ESPRIT Basic Research Actions G. Metakides - Commissione delle Comunità Europee</p> <p>12,00-12,40 Artificial Intelligence Initiative within the Space Station "Freedom" Program G. Swietek - NASA (USA)</p> <p>12,40-14,00 Intervallo per il pranzo</p>	<p>14,00-14,40 Fifth Generation Computer Systems: toward a more powerful computational environment for Knowledge Information Processing F. Mizoguchi - Science University of Tokyo (Japan)</p> <p>14,40-15,20 AI Programs in the USSR D. Pospelov - USSR Academy of Sciences</p> <p>15,20-15,40 Intervallo</p> <p>15,40-17,40 Tavola rotonda: Promozione delle ricerche in intelligenza artificiale e diffusione delle relative innovazioni Sono invitati rappresentanti di AI*IA, CNR, Confindustria, ENEA, ENI, Fondazione Ugo Bordononi, IMI, IRI, Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni, Ministero della Funzione Pubblica, Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica</p> <p>Attività associative</p> <p>18,00-18,10 Assegnazione del premio AI*IA - Digital</p> <p>18,10-19,00 Assemblea dei soci AI*IA</p> <p>20,30 Cena sociale</p>
---	--

17 OTTOBRE 1990

<p>Resoconto del gruppo di lavoro AI*IA sull'apprendimento automatico - Presiede L. Saitta, Università di Torino</p> <p>9,00-9,40 Introduzione del presidente di sessione</p> <p>9,40-10,20 Le ricerche italiane sull'apprendimento automatico C. Carpineto - Fondazione Ugo Bordononi</p> <p>10,20-10,40 Intervallo</p> <p>Rappresentazione della conoscenza - Presiede M. Lenzerini, Università di Roma "La Sapienza"</p> <p>10,40-11,00 Introduzione del presidente di sessione</p> <p>11,00-11,50 Contexts as Objects J. McCarthy, Stanford University (USA)</p> <p>11,50-12,40 Recent progress in Knowledge Representation and Reasoning H. Levesque - University of Toronto (Canada)</p> <p>12,40-14,00 Intervallo per il pranzo</p>	<p>Sistemi intelligenti per l'accesso ai dati e ai documenti - Presiede D. Saccà, Università della Calabria</p> <p>14,00-14,20 Introduzione del presidente di sessione</p> <p>14,20-15,10 Applications of Deductive Database Systems S. Tsur - Microelectronics and Computer Technology Corporation (USA)</p> <p>15,10-16,00 Interfacce Intelligenti per basi di dati non strutturate C. Tasso - Università di Udine</p> <p>16,00-16,20 Intervallo</p> <p>Il futuro dell'intelligenza artificiale - Presiede L. Carlucci Aiello, Università di Roma "La Sapienza"</p> <p>16,20-18,00 Tavola rotonda: AI Prospects Partecipanti: M. Fox, H. Levesque, J. McCarthy, S. Tsur</p>
---	---

Fig. 4 Volantino del convegno della AIXIA tenuto a Roma nel 1990 (retro).

A incentivare questa conversione ha senz'altro contribuito la presenza sul mercato di piattaforme (relativamente) economiche su cui fare sperimentazioni, ma ha contribuito anche il lancio di Robocup.

RoboCup, ideata nel 1993 e avviata a partire dal 1997, è un'iniziativa nata con l'obiettivo di realizzare, entro il 2050, una squadra di robot umanoidi autonomi in grado di battere la squadra di calcio umana campione del mondo, ma anche con la finalità di promuovere la ricerca in robotica e intelligenza artificiale (Kitano 1998). Le prime tre edizioni si sono tenute nel 1997 a Nagoya, Giappone, nel 1998 a Parigi, Francia, e nel 1999 a Stoccolma, Svezia. Parleremo nel prossimo paragrafo del contributo italiano.

Il risultato più eclatante a livello mondiale degli anni Novanta è stato raggiunto nel 1996, pubblicato nel 1997, quando il programma Deep Blue (un programma sviluppato da IBM) ha battuto il campione mondiale di scacchi Gary Kasparov. Il gioco degli scacchi era usato da tempo come problema esemplare su cui cimentare programmi di intelligenza artificiale⁴⁷, ma mai si era raggiunto prima un livello così elevato.

Kasparov la prese molto male, la comunità dei non specialisti lo apprese da un articolo in prima pagina sul New York Times, molti si affrettarono a dire che non era un risultato dell'Intelligenza Artificiale, ma dell'Informatica tout court.

Il nuovo millennio

Il nuovo millennio è partito all'insegna dell'ottimismo per l'Intelligenza Artificiale. Il progresso delle tecnologie digitali e della comunicazione ha permesso elaborazioni velocissime su computer di dimensioni sempre più ridotte, l'immagazzinamento, reperimento e l'elaborazione efficienti di grandissime quantità di dati, strutturati e non. È nata la "Data Science" e con essa si sono affinate le tecniche di apprendimento automatico. Inoltre, la connessione con il mondo reale si realizza tramite sensori e attuatori sempre più precisi, piccoli ed economici, che consentono molte nuove possibilità applicative.

Sono state lanciate grandi sfide, tra queste la RoboCup accennata sopra. La comunità italiana, a partire dalla seconda edizione della RoboCup, ha organizzato una squadra nazionale, con coordinatore Nardi, denominata Azzurra Robot Team (ART) e costituita dalle Università di Roma La Sapienza, Padova, Genova, Parma, Palermo e dal Politecnico di Milano. ART ha partecipato alle gare nella categoria "Middle-size League" costituita da piccoli robot su ruote, con tutti i sensori e la computazione a bordo. I risultati nelle gare sono stati lusinghieri con il secondo posto nell'edizione del 1999, svoltasi in concomitanza con *IJCAI99* a Stoccolma e con la vittoria nel successivo campionato Europeo. La ricerca è stata finanziata dal CNR e ha avuto il supporto del Consorzio Padova Ricerche, che ha ospitato la fase di costruzione e di sperimentazione dei robot, ed ha avuto risvolti molto positivi anche in termini scientifici con numerosi articoli, in particolare sulle problematiche del coordinamento, per la prima volta sperimentato in un ambiente con agenti eterogenei ed operanti in un contesto estremamente dinamico e competitivo per la presenza degli avversari.

47. I primi programmi per giocare a scacchi furono scritti da Shannon nel 1949 e da Turing nel 1952.

A partire dai primi anni Duemila le gare RoboCup hanno adottato le cosiddette "piattaforme standard", robot da utilizzare così come forniti dal produttore. La prima piattaforma è stata il robot AIBO di Sony, un quadrupede di forma canina (con quattro zampe non è certo facile giocare a calcio, ma almeno si è più stabili). A partire dal 2009, è stato adottato il robot umanoide NAO, inizialmente prodotto appositamente per RoboCup da Aldebaran Robotics, tuttora sul mercato e molto diffuso nei laboratori di ricerca per numerose applicazioni di intelligenza artificiale, in cui le interazioni persona-robot giocano un ruolo centrale.

Lo scenario del calcio è stato e continua a essere un contesto nel quale è possibile sperimentare, nonostante le limitazioni di hardware, strumenti e tecniche di intelligenza artificiale (Asada et al. 2019; Antonioni et al. 2021). Se nei primi anni la ricerca si è incentrata su problematiche di percezione, localizzazione, pianificazione, coordinamento, con approcci basati sia sull'apprendimento automatico sia su modelli, negli ultimi anni sono state affrontate questioni che vanno oltre il calcio, ad esempio la costruzione automatica dei comportamenti del robot a partire dalla specifica dell'obiettivo e dell'ambiente operativo (Suriani et al. 2023).

Tornando alle grandi sfide che hanno stimolato la ricerca e lo sviluppo di tecnologie, molto importante per la guida autonoma è stata la "DARPA Grand Challenge": nel 2005 un camion senza pilota (progettato a Stanford) ha attraversato in autonomia il deserto del Mojave da Los Angeles a Las Vegas. I veicoli sono passati attraverso tre stretti tunnel e hanno affrontato più di cento curve strette a destra e a sinistra e un tortuoso passo di montagna, con un salto a strapiombo da un lato e una parete rocciosa dall'altro. La successiva competizione della DARPA Grand Challenge, conosciuta come "Urban Challenge", ha avuto luogo nel 2007 presso il sito della George Air Force Base. La sfida prevedeva il completamento, in meno di 6 ore, di un percorso di 60 miglia in area urbana, rispettando le norme stradali.

Una ulteriore sfida vinta dalla intelligenza artificiale nel nuovo millennio, si è consumata tra il programma *Watson Blue* (IBM) e due campioni di *Jeopardy!*, gioco a quiz in cui data una risposta, i giocatori devono indovinare la domanda corrispondente. Il risultato certamente rilevante, considerando la oggettiva difficoltà del gioco, non ha avuto molta eco in Italia, perché *Jeopardy!* è un gioco popolare negli Stati Uniti, ma sconosciuto al pubblico italiano. Il programma *Watson Blue* si basava su tecniche di intelligenza artificiale e l'utilizzo di grandi basi di dati e ontologie.

Altra tappa molto importante si è raggiunta nel 2016, quando il programma AlphaGo (Google Deep Mind) ha battuto il campione di GO. Anche questa notizia non ha avuto molta eco in Italia in quanto GO è un antico gioco da tavolo cinese, popolare anche in Giappone, molto più complesso degli scacchi. Quando fu vinta la sfida degli scacchi nel 1997, sembrava impossibile poter sviluppare un programma che andasse oltre il dilettantismo e potesse vincere i campioni umani del GO. Contro ogni previsione, sono stati sufficienti venti anni, grazie soprattutto all'uso di reti neurali profonde e di tecniche di Machine Learning.

Integrazione di paradigmi

Abbiamo detto in precedenza che spesso la ricerca in intelligenza artificiale si è contraddistinta per contese anche molto forti tra i sostenitori di un approccio alla rappresentazione piuttosto di un altro. Questo è anche successo per i fautori della probabilità della logica, o delle rappresentazioni simboliche, piuttosto che quelle subsimboliche.

A partire dagli inizi degli anni Novanta, si sono diffuse combinazioni di modelli grafici probabilistici con modelli relazionali “StarAI - Statistical Relational Artificial Intelligence”. Integrando logica e probabilità si ottengono la programmazione logica probabilistica e le logiche descrittive probabilistiche.

Nella programmazione logica probabilistica, all’Università di Ferrara, Riguzzi (2023) ha proposto la semantica distributiva, *distribution semantics*, in cui un programma probabilistico dà origine a una distribuzione di programmi normali dalla quale si può ricavare la probabilità di una query mediante marginalizzazione. Diversi linguaggi, come PRISM, Programmi Logici con Disgiunzioni Annotate e ProbLog, sono basati su questa semantica.

Recentemente, sono stati studiati approcci per includere variabili casuali continue nei programmi logici probabilistici (Azzolini, Riguzzi, e Lamma 2021). La semantica distributiva è stata applicata anche alle logiche descrittive (Riguzzi et al. 2015), sviluppando al contempo anche algoritmi di inferenza e combinazioni con ragionamento non monotono.

A Firenze, a partire da spunti e intuizioni di Giovanni Soda, da circa venti anni sono stati condotti studi sulle connessioni tra modelli simbolici e subsimbolici sotto la guida di Paolo Frasconi. Un gruppo, che includeva anche Luc De Raedt (KULeuven), ha contribuito in modo determinante allo sviluppo di metodi per combinare la programmazione logica induttiva con le “support kernel machine”, con applicazioni alla bioinformatica.

Circa quindici anni fa, all’Università di Siena, un gruppo composto da Marco Gori, Marco Maggini e Michelangelo Diligenti ha iniziato a studiare metodi per instradare l’apprendimento attraverso vincoli di vario tipo. In particolare, è stata proposta una soluzione che unifica la matematica, discreta e continua, in modo da fornire un contesto unitario per gli ordinari processi di apprendimento sia delle support kernel machine sia delle reti neurali (Diligenti, Gori, e Saccà 2017; Ciravegna et al. 2023). Un ulteriore contributo verso l’unificazione di modelli simbolici e subsimbolici è emerso con l’introduzione da parte di Franco Scarselli e Marco Gori delle Graph Neural Network, fondamentali, ad esempio, per la modellazione di conoscenza attraverso i Knowledge Graph.

A partire dall’idea di rappresentare le formule logiche mediante *triangular-norm*, presso la FBK di Trento, Luciano Serafini ha proposto una formulazione con particolare riferimento a deep architectures e a schemi di Deep Learning. La teoria sviluppata sfrutta in modo naturale la rappresentazione tensoriale delle variabili nelle reti neurali originando un modello denominato “Logic Tensor Networks” (Badreddine et al. 2022).

Anche a seguito della partecipazione al gruppo di Frasconi e Luc De Raedt, Andrea Passerini, all’Università di Trento, ha contribuito a sviluppare l’integrazione tra programmazione logica induttiva e kernel machine.

A Bologna, una tematica rilevante, sviluppatasi storicamente a partire dagli anni

Ottanta, ha riguardato lo studio e la realizzazione di estensioni alla programmazione logica per la rappresentazione della conoscenza e la dimostrazione automatica. Alcune estensioni hanno riguardato la definizione di meccanismi di ragionamento in programmi logici con basi di conoscenza multiple (Bugliesi, Lamma, e Mello 1994) e basati su negazione e ragionamento non monotono (Brogi et al. 1997), soddisfacimento di vincoli (Gavanelli et al. 2005) e abduzione (Alberti et al. 2008).

Rilevante è stato l’utilizzo di tali estensioni per la specifica e verifica di sistemi ad agenti basati sulla logica. Nell’ipotesi di società aperte ed eterogenee, è stato definito un modello logico per la descrizione delle interazioni e realizzata una controparte operativa basata su un ragionamento abduttivo, denominata SCIFF (Alberti et al. 2008), che consente la verifica delle interazioni tra gli agenti e la rilevazione di eventuali violazioni. Il sistema risultante è stato applicato con successo a campi quali la composizione di servizi web, la definizione e verifica di linee guida in campo medico e il “process mining” (Montali et al. 2010).

Negli anni successivi, con l’ampliarsi degli ambiti applicativi dell’Intelligenza Artificiale, si è registrato un particolare sviluppo dei sistemi di supporto alle decisioni basati sulla conoscenza, in cui convivono metodi ibridi di ragionamento, apprendimento e ottimizzazione (Lombardi, Milano, e Bartolini 2017).

A partire dalla fine degli anni Novanta, l’Intelligenza Artificiale è stata pervasa da paradigmi economici per la modellazione di scenari in cui molteplici agenti interagiscono tra loro in modo cooperativo o competitivo. Nel corso degli anni, i diversi approcci hanno permesso di affrontare una grande varietà di problemi. Ad esempio, approcci ibridi cooperativi/competitivi hanno permesso di costruire metodi decentralizzati di ottimizzazione che fossero robusti e scalabili in molteplici domini applicativi (Amigoni, Gatti, e Somalvico 2002). Uno dei campi applicativi di maggiore successo, per approcci puramente competitivi, è stato quello dei giochi di sicurezza caratterizzati da un agente che utilizza risorse per difendere obiettivi sensibili da alcuni attaccanti (Basilico, Gatti, e Amigoni 2012). I paradigmi economici sono anche utilizzati per creare meccanismi di interazione in scenari di transazioni economiche (Castiglioni et al. 2023).

All’Università della Calabria, la ricerca in intelligenza artificiale è iniziata nella seconda metà degli anni Ottanta con Domenico Saccà che ha creato, all’interno del Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemi (DEIS), un gruppo (di cui facevano parte Sergio Greco, Nicola Leone, Luigi Palopoli, Pasquale Rullo e, successivamente, Francesco Scarcello), focalizzato sullo studio di linguaggi logici per basi di dati e, in particolare, di tecniche di valutazione efficiente di programmi Datalog, comprese le sue estensioni linguistiche per il trattamento di conoscenza incompleta e ragionamento non-monotono (Saccà e Zaniolo 1990). Il gruppo ha acquisito visibilità per i numerosi risultati, teorici e applicativi, nella rappresentazione della conoscenza (Cadoli e Palopoli 1998) e nella gestione di dati inconsistenti e incompleti (Greco G., Greco S., e Zumpano 2003).

Più recentemente il gruppo si è interessato di moderazione dell’interazione tra agenti intelligenti, di sistemi di Machine Learning e di argomentazione con costrutti per rappresentare l’incompletezza, l’esistenza probabilistica, i vincoli e le preferenze. Significativo è stato, inoltre, il contributo allo sviluppo di algoritmi per problemi di

soddisfacimento di vincoli, con la nozione di hypertree decomposition, definita da Francesco Scarcello e Nicola Leone, insieme a Georg Gottlob (Gottlob, Leone, e Scarcello 2002).

Nei primi anni Duemila Nicola Leone, conclusa la sua esperienza presso il Politecnico di Vienna, ha costituito un gruppo di ricerca nel Dipartimento di Matematica e Informatica dell'Università della Calabria. Il gruppo si è contraddistinto a livello internazionale per lo sviluppo del sistema DLV (Leone et al. 2006), un motore inferenziale per l'“Answer Set Programming” impiegato in numerosi contesti applicativi, ad esempio, nel campo dell'integrazione di basi dati⁴⁸. Parallelamente allo sviluppo del sistema DLV, le attività di ricerca del gruppo hanno spaziato in diverse aree dell'Intelligenza Artificiale, con un focus sulla KR&R, sullo studio di sistemi multi-agente e sullo sviluppo di tecniche di Machine/Deep Learning in diversi ambiti applicativi. La qualità dei risultati scientifici del gruppo è testimoniata da numerosi riconoscimenti conseguiti nelle più prestigiose sedi internazionali, quali l'IJCAI-JAIR Best Paper Prize (Gottlob, Greco, e Scarcello 2005), l'Artificial Intelligence Journal Prominent Paper Award (Eiter et al. 2008), l'IJCAI Distinguished Paper Award (2018) e l'AAAI Outstanding Student Paper Award (2022).

Ragionamento con vincoli, pianificazione, ragionamento su tempo e azioni

Abbiamo, in diversi passaggi del presente contributo, parlato di programmazione con vincoli, a partire dall'articolo di Montanari del 1974. Vogliamo qui ricordare che l'argomento è stato successivamente trattato da Montanari con il contributo dei suoi studenti (Bistarelli, Montanari, e Rossi 1995; 1997); tra questi ricordiamo i numerosi contributi di Francesca Rossi (Milano e Rossi 2006); ricordiamo anche (Lamma, Milano, e Mello 1998).

Abbiamo già in precedenza ricordato la ricerca svolta all'IRST su questi argomenti, alla quale occorre aggiungere il lavoro fatto a Padova da Silvana Badaloni che si è occupata di conoscenza incerta e di logiche temporali, estendendo la logica degli intervalli di Allen con l'imposizione di vincoli *fuzzy* e studiandone le proprietà computazionali (Badaloni, Fadda, e Giacomini 2004; Badaloni e Giacomini 2006).

Alfonso Gerevini, a Brescia, si è occupato di integrazione, di pianificazione e scheduling con vincoli temporali ed eventi esogeni, con importanti risultati teorici e sperimentali (Gerevini, Saetti, e Serina 2005; 2006; 2008).

Cristiano Castelfranchi, presso il l'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del CNR (ISTC⁴⁹), si è occupato di agenti sociali, tema per il quale è diventato un riferimento internazionale (Castelfranchi 1998). La sua impostazione, che integra cognizione sociale ed emozioni, ha consentito di approfondire molti aspetti di sistemi multiagenti, ed è evidente, in particolare, nel volume sulla teoria della fiducia (Castelfranchi e Falcone 2010).

48. Nicola Leone ha coordinato il progetto INFOMIX, definito “Success story” del V Programma Quadro dalla Commissione Europea.

49. Nell'ISTC, fondato nel 2001, è confluito l'Istituto di Psicologia, insieme a vari gruppi operanti in diversi istituti del CNR.

Presso CNR ISTIC, Amedeo Cesta, dopo l'esperienza del progetto del pianificatore temporale Constraint-based Specialized Reasoning per lo Hubble Space Telescope⁵⁰, illustrato in (Muscettola et al. 1992), ha creato un gruppo di ricerca denominato “Planning and Scheduling Technology Lab” (PST). Una delle realizzazioni più significative del gruppo PST è MEXAR2, un sistema di supporto alle decisioni sviluppato per l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) nell'ambito della missione Mars-Express (Cesta et al. 2007). Il sistema software è basato su risultati di ricerca di intelligenza artificiale, in particolare “Timeline-based planning and Scheduling” (Oddi e Policella 2007) e nell'area dell'interazione persona-macchina. È importante notare che MEXAR2 è in uso operativo dal 2005 nel centro di controllo ESA-ESOC di Darmstadt (Germania) e supporta periodicamente il *mission planning team* nella generazione dei piani di comunicazione dei dati dalla sonda Mars-Express verso la Terra.

Una linea di ricerca promettente nella rappresentazione della conoscenza è perseguita da Giuseppe De Giacomo, che affronta la convergenza del ragionamento sulle azioni e della pianificazione con il *model checking* e sintesi automatica di programmi con metodi formali. In particolare, l'emergere delle logiche temporali lineari su tracce finite con proprietà computazionali particolarmente buone ha gettato una nuova luce sulla connessione tra logica, automi e giochi in metodi formali (De Giacomo e Vardi 2013, 2015).

Connessione che ha creato un terreno fertile per nuove forme di ricerca avanzata per il ragionamento sulle azioni, sul ragionamento strategico per agenti autonomi e su processi di decisione non markoviani e apprendimento per rinforzo (De Giacomo e Rubini 2018; De Giacomo et al. 2019).

Significativo anche il contributo di Aniello Murano derivante dall'uso di metodi formali come le logiche temporali, il *model checking*, i giochi sui grafi e la sintesi reattiva. La “Strategy Logic” (Mogavero et al. 2014) si è affermata come la metodologia di riferimento aprendo nuove strade per la ricerca avanzata sul ragionamento strategico e sulle azioni degli agenti autonomi, facilitando il dialogo con altre discipline. In particolare, essa ha permesso di connettersi con l'economia, affrontando problemi di *solution concept* (come l'equilibrio di Nash) utilizzati per modellare le decisioni strategiche. Strategy Logic si distingue per la sua capacità di integrare concetti complessi, risultando fondamentale nella pianificazione con obiettivi temporalmente estesi, nella programmazione autonoma degli agenti e nel ragionamento strategico multi-agente anche in situazione di incertezza (Beldardinelli et al. 2020; Berthon et al. 2021; Aminof et al. 2019). Gli sviluppi elencati non solo hanno ampliato le capacità teoriche, ma hanno anche offerto potenzialità pratiche significative, influenzando vari ambiti applicativi dell'Intelligenza Artificiale.

Coscienza artificiale

Non possiamo concludere la nostra breve storia senza parlare della discussione in atto sulla *consciousness*, cioè sul fatto di poter dotare o meno i robot cognitivi di una co-

50. Progetto finanziato dalla NASA e realizzato al CMU di Pittsburgh.

scienza artificiale paragonabile alla coscienza umana. La ricerca sulla coscienza è molto attiva nel mondo e in Italia.

Non esiste una definizione universalmente accettata del concetto di coscienza. Tuttavia, si distingue tra la coscienza intesa come esperienza visiva, corporea e mentale, e la coscienza in termini funzionali come la capacità di elaborare informazioni e renderle disponibili globalmente, di introspezione, di integrare informazioni, di avere un modello di sé e del mondo, di anticipare eventi futuri, di avere un monologo interiore.

Un obiettivo degli studi sulla coscienza artificiale consiste nel replicare aspetti della coscienza biologica nei robot integrando tecniche di intelligenza artificiale con le tecniche della robotica cognitiva, epigenetica e biomimetica. L'altro obiettivo riguarda l'uso dei robot come strumenti per lo studio della coscienza biologica (Chella et al. 2019).

La storia della coscienza artificiale in Italia non può non menzionare Giuseppe Trautteur (1936-2025), che nel giugno 1991 organizzò a Venezia il *Workshop on Consciousness*, finanziato dal Progetto Finalizzato Robotica del CNR (Trautteur 1995), con una qualificata presenza internazionale.

Antonio Chella, nel novembre 2005, insieme a Vincenzo Tagliasco e Riccardo Manzotti ha organizzato l'*International Conference on Artificial Consciousness* ad Agrigento. La conferenza è stata molto vivace e seguita; un riassunto del dibattito è contenuto nel libro curato da Chella e Manzotti (2007), che per molti anni è stato il riferimento nel settore.

La mancanza di una sede stabile di pubblicazione con un taglio interdisciplinare ha portato Chella a fondare nel 2009 l'*International Journal on Machine Consciousness*, edito da World Scientific Press. La rivista oggi è diventata il *Journal on Artificial Intelligence and Consciousness*, censita su Scopus. Attualmente, la coscienza artificiale non è più un tema di ricerca di nicchia, ma si avvia ad essere un tema centrale nell'intelligenza artificiale; ad esempio, il recente libro di testo sulla robotica cognitiva riporta proprio la machine consciousness tra gli argomenti di studio (Chella 2022) e ricercatori come David Chalmers parlano della possibilità della coscienza artificiale nei sistemi basati su LLM (Large Language Model) come ChatGPT.

Ai nostri giorni l'intelligenza artificiale continua a raccogliere grandi successi e a sollevare altrettanto grandi preoccupazioni, in maniera del tutto analoga agli anni Ottanta e in qualche misura anche agli anni Cinquanta. "Intelligenza artificiale" è passato dall'essere il nome che indica un'area di ricerca a essere uno slogan che viene usato per vendere sistemi. L'intelligenza artificiale è uscita, come mai prima, dai laboratori di ricerca ed è parte integrante di prodotti e servizi usati ogni giorno. Ora non si vedono inverni in vista, ma è il momento di prestare molta attenzione e di tenere dritta la barra della ricerca e della innovazione. La comunità dei ricercatori italiani in intelligenza artificiale ancora una volta dimostrerà sicuramente tutto il suo potenziale.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio tutti i colleghi che mi hanno aiutato a rinfrescare la memoria con suggerimenti, ricordi e notizie varie.

Ringrazio Oliviero Stock per l'amicizia di una vita e per la grande disponibilità durante la stesura di queste pagine.

Ringrazio mio figlio Marco Aiello per avermi sostenuta in tante avventure, comprese le riletture di vari stadi di avanzamento di questo scritto.

Ringrazio Roberto Cordeschi (1946-2014), con molto dispiacere per non poterlo fare di persona, per la collaborazione e lo scambio di studenti negli anni della Sapienza a Roma, per le tante stimolanti conversazioni e per i tanti scritti che ci ha lasciato, pieni di materiale prezioso.

BIBLIOGRAFIA

- Aida, Shuhei, Luigi P. Cordella, e N. Ivacevic. 1971. "Visual-Tactile Symbiotic System for Stereometric Pattern Recognition." In *Proceedings of the IJCAI-71*, 365-375.
- Aiello, Luigia, Mario Aiello, Giuseppe Attardi, e Gianfranco Prini. 1977. "PPC Pisa Proof Checker: A Tool for Experiments in Theory of Proving and Mathematical Theory of Computation." *Fundamenta Informaticae* 1: 251-275.
- Aiello, Luigia, Mario Aiello, e Richard W. Weyhrauch. 1977. "PASCAL in LCF: Semantics and Examples of Proof." *Theoretical Computer Science* 5: 135-177.
- Aiello, Luigia, e Richard W. Weyhrauch. 1980. "Using Meta-theoretic Reasoning to do Algebra." In *Proceedings of the 6th conference on Automated Deduction CADE-80*, Springer Verlag LNCS 87, 1-13.
- Aiello, Luigia. 1980. "Automatic Generation of Semantic Attachments in FOL." In *Proceedings of the 1st Annual National Conference on Artificial Intelligence AAAI-80*, 90-92.
- Aiello, Luigia, e Gianfranco Prini. 1981. "An Efficient Interpreter for the Lambda-Calculus." *Journal of Computer and System Sciences* 23 (3): 383-424.
- Aiello, Luigia, Carlo Cecchi, e Dario Sartini. 1986. "Representation and Use of Metaknowledge." *Proceedings of the IEEE*, 74(10): 1304-1321.
- Aiello, Mario, e Richard W. Weyhrauch. 1975. "Checking Proofs in the Metamathematics of First Order Logic." In *Proceedings of the IJCAI-75*, 1-8.
- Alberti, Marco, Federico Chesani, Marco Gavanelli, Evelina Lamma, Paola Mello, e Paolo Torroni. 2008. "Verifiable Agent Interaction in Abductive Logic Programming: The SCIFF Framework." *ACM Transactions on Computational Logic (TOCL)* 9 (4): 1-43.
- Amati, Gianni, Luigia Carlucci Aiello, Dov Gabbay, e Fiora Pirri. 1996. "A Proof Theoretical Approach to Default Reasoning I: Tableaux for Default Logic." *Journal of Logic and Computation* 6 (2): 205-231.
- Amati, Gianni, Luigia Carlucci Aiello, e Fiora Pirri. 1997. "Definability and Commonsense Reasoning." *Artificial Intelligence Journal* 93: 169-199.
- Amigoni, Francesco, Nicola Gatti, e Marco Somalvico. 2002. "A multiagent interaction paradigm for physiological process control." In *Proceedings of the AAMAS 2002*, 215-216.

- Aminof, Benjamin, Marta Kwiatkowska, Bastien Maubert, Aniello Murano, e Sasha Rubin. 2019. "Probabilistic Strategy Logic." In *Proceedings of the IJCAI-2019*: 32-38.
- Antonioni, Emanuele, Vincenzo Suriani, Francesco Riccio, e Daniele Nardi. 2021. "Game Strategies for Physical Robot Soccer Players: A Survey." *IEEE Trans. Games* 13 (4): 342-357.
- Asada, Minoru, Peter Stone, Manuela Veloso, Daniel D. Lee, e Daniele Nardi. 2019. "RoboCup: A Treasure Trove of Rich Diversity for Research e Issues and Interdisciplinary Connections." [IC Spotlight]. *IEEE Robotics Autom. Mag.* 26(3): 99-102.
- Attardi, Giuseppe, e Maria Simi. 1981. "Consistency and Completeness of OMEGA, Logic for Knowledge Representation." In *Proceedings of the IJCAI-81*, 504-510.
- Attardi, Giuseppe, e Maria Simi. "A Description-Oriented Logic for Building Knowledge Bases." *Proceedings of the IEEE*, 74 (10): 1335-1344.
- Azzolini, Damiano, Fabrizio Riguzzi, e Evelina Lamma. 2021. "A Semantics for Hybrid Probabilistic Logic Programs with Function Symbols." *Artificial Intelligence Journal* 294: 103452.
- Bacciu, Davide, e Antonina Starita. 2007. "A Robust Bio-Inspired Clustering Algorithm for the Automatic Determination of Unknown Cluster Number." *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks - IJCNN-07*, 1314-1319.
- Badaloni, Silvana, Marco Falda, e Massimiliano Giacomini. 2004. "Integrating Quantitative and Qualitative Fuzzy Temporal Constraints." *AI Communications* 17 (4): 187-200.
- Badaloni, Silvana, e Massimiliano Giacomini. 2006. "The Algebra IAFuz: A Framework for Qualitative Fuzzy Temporal Reasoning." *Artificial Intelligence Journal* 170 (10): 872-908.
- Badreddine, Samy, Artur d'Avila Garcez, Luciano Serafini, e Michael Spranger. 2022. "Logic Tensor Networks." *Artificial Intelligence Journal* 303: 103649.
- Baldoni, Matteo, Alberto Martelli, Viviana Patti, e Laura Giordano. 2004. "Programming Rational Agents in a Modal Action Logic." *Ann. Math. Artif. Intell.* 41 (2-4): 207-257.
- Basilico, Nicola, Nicola Gatti, e Francesco Amigoni. 2012. "Patrolling security games: Definition and algorithms for solving large instances with single patroller and single intruder." *Artificial Intelligence Journal* 184-185: 78-123.
- Belardinelli, Francesco, Alessio Lomuscio, Aniello Murano, e Sasha Rubin. 2020. "Verification of multi-agent systems with public actions against strategy logic." *Artificial Intelligence Journal* 285: 103302.
- Berthon, Raphaël, Bastien Maubert, Aniello Murano, Sasha Rubin, e Moshe Y. Vardi. 2021. "Strategy Logic with Imperfect Information." *ACM Transactions on Computational Logic* 22 (1): 5:1-5:51.
- Bistarelli, Stefano, Ugo Montanari, e Francesca Rossi. 1977. "Semiring-based Constraint Satisfaction and Optimization." *Journal of the ACM* 44 (2): 201-236.
- Bistarelli, Stefano, Ugo Montanari, e Francesca Rossi. 1995. "Constraint Solving over Semirings." In *Proceedings of the IJCAI-95* (1): 624-630.
- Borsellino, Antonio, e Augusto Gamba, 1961. "An outline of a mathematical theory of PAPA." *Nuovo Cimento*, s. X, 20: 221-231.
- Braitenberg, Valentino, Eduardo Caianiello, Francesco Lauria, e Nello Onesto. 1959. "A System of Coupled Oscillators as a Junctional Model of Neuronal Assemblies." *Nuovo Cimento* 11: 278-282.
- Brogi, Antonio, Evelina Lamma, Paolo Mancarella, e Paola Mello. 1997. "A Unifying View for Logic Programming with Non-Monotonic Reasoning." *Theoretical Computer Science* 184 (1-2): 1-5.
- Brusoni, Vittorio, Luca Console, Daniele Theiseider Duprè, e Paolo Terenziani. 1998. "A Spectrum of Definitions for Temporal Model-based Diagnosis." *Artificial Intelligence Journal* 102 (1): 39-79.
- Bugliesi, Michele, Evelina Lamma, e Paola Mello. 1994. "Modularity in Logic Programming." *The Journal of Logic Programming* 19, 443-502.
- Cadoli, Marco, Francesco M. Donini, e Marco Schaerf. 1996. "Is Intractability of Nonmonotonic Reasoning a Real Drawback?" *Artificial Intelligence Journal* 88 (1-2): 215-251.
- Cadoli, Marco, Andrea Giovanardi, e Marco Schaerf. 1998. "An Algorithm to Evaluate Quantified Boolean Formulae." In *Proceedings of the AAAI/LAAI-88*, 262-267.
- Cadoli, Marco, e Luigi Palopoli. 1998. "Circumscribing DATALOG: Expressive Power and Complexity." *Theoretical Computer Science* 193 (1-2): 215-244.
- Cadoli, Marco, Francesco M. Donini, Paolo Liberatore, e Marco Schaerf. 2000. "Space Efficiency of Propositional Knowledge Representation Formalisms." *Journal of Artificial Intelligence Research* 13: 1-31.
- Caianiello, Eduardo R. 1961. "Outline of a Theory of Thought-processes and Thinking Machines." *Journal of Theoretical Biology*, 1 (2): 204-235.
- Calvanese, Diego, Giuseppe De Giacomo, Domenico Lembo, Maurizio Lenzerini, e Riccardo Rosati. 2007. "Tractable Reasoning and Efficient Query Answering in Description Logics: The DL-Lite Family." *Journal of Automated Reasoning* 39 (3): 385-429.
- Carlucci Aiello, Luigia, Daniele Nardi, e Marco Schaerf. 1988. "Reasoning about Knowledge and Ignorance." *Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988: FGCS-88*, ICOT Press, 618-627.
- Carlucci Aiello, Luigia, Marta Cialdea, e Daniele Nardi. 1991. "Reasoning about Student Knowledge and Reasoning." In *Proceedings of the IJCAI-91*, 1087-1093.
- Carlucci Aiello, Luigia, e Maurizio Dapor. 2004. "Intelligenza Artificiale: i primi 50 anni." *Mondo Digitale* 2: 3-20.
- Castelfranchi, Cristiano. 1998. "Modelling Social Action for AI Agents." *Artificial Intelligence Journal* 103 (1-2): 157-182.
- Castelfranchi, Cristiano, e Rino Falcone. 2010. *Trust Theory: A Socio-Cognitive and Computational Model*. John Wiley & Sons.
- Castiglioni, Matteo, Alberto Marchesi, Giulia Romano, e Nicola Gatti. 2023. "Increasing revenue in Bayesian posted price auctions through signaling." *Artificial Intelligence Journal* 323: 103990.
- Cesta, Amedeo, Gabriella Cortellessa, Michel Denis, Alessandro Donati, Simone Fratini, Angelo Oddi, Nicola Policella, Erhard Rabenau, e Jonathan Schuster. 2007. "Mexar2: AI Solves Mission Planner Problems." *IEEE Intelligent Systems* 22 (4): 12-19.
- Chella, Antonio, e Riccardo Manzotti, cur. 2007. *Artificial Consciousness*. Exeter (UK): Imprint Academic.
- Chella, Antonio, Angelo Cangelosi, Giorgio Metta, e Selmer Bringsjord. 2019. Editorial: "Consciousness in Humanoid Robots." *Frontiers in Robotics and AI* 6:17.
- Chella, Antonio. 2022. "Robots and Machine Consciousness." In *Cognitive Robotics*, a cura di Angelo Cangelosi e Minoru Asada. MIT Press: 453-474.
- Cimatti, Alessandro, Marco Roveri, e Piergiorgio Bertoli. 2004. "Conformant Planning via Symbolic Model Checking and Heuristic Search." *Artificial Intelligence Journal* 159 (1-2): 127-206.
- Cimatti, Alessandro, Marco Pistore, e Paolo Traverso. 2008. "Automated Planning." In *Handbook of Knowledge Representation*. 841-867.
- Ciravegna, Gabriele, Pietro Barbiero, Francesco Giannini, Marco Gori, Pietro Liò, Marco Maggini, e Stefano Melacci. 2023. "Logic Explained Networks." *Artificial Intelligence Journal* 314: 103822.

- CNR. 1958. *Atti del Convegno internazionale sui problemi dell'automatismo*. 3 Volumi. Roma.
- Console, Luca, Daniele Thesider Duprè, e Pietro Torasso. 1991. "On the Relationships between Abduction and Deduction." *Journal of Logic and Computation* 1 (5): 661-690.
- Console, Luca, e Pietro Torasso. 1991. "A Spectrum of Logical Definitions of Model-based Diagnosis." *Computational Intelligence* 7 (3): 133-141.
- Console, Luca, e Oskar Dressler. 1999. "Model-based Diagnosis in the Real World: Lessons Learned and Challenges Remaining." In *Proceedings of the IJCAI-99*, 1393-1400.
- Cordeschi, Roberto, e Teresa Numerico. 2013. "La Cibernetica Il contributo italiano alla storia del Pensiero: Scienze." [https://www.treccani.it/enciclopedia/la-cibernetica_\(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero-Scienze\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/la-cibernetica_(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero-Scienze)/)
- Crespi-Reghizzi, Stefano. 1971. "Reduction of Enumeration in Grammar Acquisition." In *Proceedings of the IJCAI-71*, 546-552.
- Criscuolo, Giovanni, e Eliana Minicozzi. 1999. "On existence of extensions for default theories." In *Logical Foundations for Cognitive Agents: Contributions in Honor of Ray Reiter*, Springer Verla: 79-85.
- De Giacomo, Giuseppe, e Moshe Y. Vardi. 2013. "Linear Temporal Logic and Linear Dynamic Logic on Finite Traces." In *Proceedings of the IJCAI 2013*, 854-860.
- De Giacomo, Giuseppe, e Moshe Y. Vardi. 2015. "Synthesis for LTL and LDL on Finite Traces." In *Proceedings of the IJCAI 2015*, 1558-1564.
- De Giacomo, Giuseppe, e Sasha Rubin. 2018. "Automata-Theoretic Foundations of FOND Planning for LTLf and LDLf Goals." In *Proceedings of the IJCAI 2018*, 4729-4735.
- De Giacomo, Giuseppe, Luca Iocchi, Marco Favorito, e Fabio Patrizi. 2019. "Foundations for Restraining Bolts: Reinforcement Learning with LTLf/LDLf Restraining Specifications." In *Proceedings of the ICAPS 2019*, 128-136.
- Degano, Pierpaolo, e Franco Sirovich. 1979. "Inducing Function Properties from Computation Traces." In *Proceedings of the IJCAI-79*, 208-216.
- De Mori, Renato, Silvano Rivoira, e Angelo Serra. 1975. "A Speech Understanding System with Learning Capability." In *Proceedings of the IJCAI-75*, 468-475.
- De Mori, Renato, e Lorenza Saitta. 1979. "Scheduling of Processes in a Speech Understanding System Based on Approximate Reasoning." In *Proceedings of the IJCAI-79*, 204-207.
- Dell'Orco, Piero, Margaret King, e V. N. Spadavecchia. 1977. "Two Semantic Worlds: A Data Base System with Provision for Natural Language Input." In *Proceedings of the IJCAI-77*, 181-182.
- Diligenti, Michelangelo, Marco Gori, e Claudio Saccà. 2017. "Semantic-based regularization for learning and inference." *Artificial Intelligence Journal* 244: 143-165.
- Donini, Francesco, Maurizio Lenzerini, Daniele Nardi, Bernhard Hollunder, e Werner Nutt. 1992. "The Complexity of Existential Quantification in Concept Languages." *Artificial Intelligence Journal* 53 (2-3): 309-327.
- Frasconi, Paolo, Marco Gori, e Alessandro Sperduti. 1997. "On the Efficient Classification of Data Structures by Neural Networks." In *Proceedings of the IJCAI-97*, 1066-1071.
- Frasconi, Paolo, Marco Gori, e Giovanni Soda. 1995. "Recurrent Neural Networks and Prior Knowledge for Sequence Processing: A Constrained Nondeterministic Approach." *Knowl. Based Syst.* 8 (6): 313-332.
- Gavanelli, Marco, Evelina Lamma, Paola Mello, e Michela Milano. 2005. "Dealing with Incomplete Knowledge on CLP(FD) Variable Domains." *ACM Trans. Program. Lang. Syst.* 27 (2): 236-26.
- Gerevini, Alfonso, Alessandro Saetti, e Ivan Serina. 2005. "Integrating Planning and Temporal Reasoning for Domains with Durations and Time Windows." In *Proceedings of the IJCAI-2005*, 1226-1231.
- Gerevini, Alfonso, Alessandro Saetti, e Ivan Serina. 2006. "An Approach to Temporal Planning and Scheduling in Domains with Predictable Exogenous Events." *Journal of Artificial Intelligence Research* 25: 187-231.
- Gerevini, Alfonso, Alessandro Saetti, e Ivan Serina. 2008. "An Approach to Efficient Planning with Numerical Fluents and Multi-criteria Plan Quality." *Artificial Intelligence Journal* 172(8-9):899-944.
- Giordano, Laura, e Alberto Martelli. 1994. "On Cumulative Default Logics." *Artificial Intelligence Journal* 66 (1): 161-179.
- Giordano, Laura, e Alberto Martelli. 2006. "Tableau-based automata construction for dynamic linear time temporal logic*." *Ann. Math. Artif. Intell.* 46 (3): 289-315.
- Giunchiglia, Fausto, e Paolo Traverso. 1991. "Reflective Reasoning with and between a Declarative Metatheory and the Implementation Code." In *Proceedings of the IJCAI-91*, 111-117.
- Gottlob, Georg, Gianluigi Greco, e Francesco Scarcello. 2005. "Pure Nash Equilibria: Hard and Easy Games." *Journal of Artificial Intelligence Research* 24: 357-406.
- Gottlob, Georg, Nicola Leone, e Francesco Scarcello. 2002. "Hypertree Decompositions and Tractable Queries." *Journal of Computer and System Science* 64 (3): 579-627.
- Greco, Gianluigi, Sergio Greco, e Ester Zumpano. 2003. "A Logical Framework for Querying and Repairing Inconsistent Databases." *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 15 (6): 1389-1408.
- Guarino, Nicola, Daniel Oberle, e Steffen Staab. 2009. "What Is an Ontology?" In *Handbook on Ontologies*, 1-17.
- Guida, Giovanni, e Marco Somalvico. 1979. "A Two-Level Modular System for Natural Language Understanding." In *Proceedings of the IJCAI-79*: 345-347.
- Guida, Giovanni, e Sandro Incerti, cur. 1987. *Libro bianco sulla intelligenza artificiale in Italia: situazione e prospettive*. Milano: Masson.
- Jacobelli, Jader, cur. 1987. *Aspettando Robot, Il futuro prossimo dell'Intelligenza Artificiale*. Bari: Laterza.
- Lamma, Evelina, Michela Milano, e Paola Mello. 1998. "Extending Constraint Logic Programming for Temporal Reasoning." *Ann. Math. Artif. Intell.* 22 (1-2): 139-158.
- Leone, Nicola, Gerald Pfeifer, Wolfgang Faber, Thomas Eiter, Georg Gottlob, Simona Perri, e Francesco Scarcello. 1990. "The DLV System for Knowledge Representation and Reasoning." *ACM Transactions on Computational Logic* 7 (3): 499-562.
- Levi, Giorgio, e Franco Sirovich. 1975. "A Problem Reduction Model for Non-Independent Subproblems." In *Proceedings of the IJCAI-75*, 340-344.
- Lombardi, Michele, Michela Milano, e Andrea Bartolini. 2017. "Empirical Decision Model Learning." *Artificial Intelligence Journal* 244: 343-367.
- Maes, Pattie, e Daniele Nardi, cur. 1986. *Meta-level Architectures and Reflection*. North Holland.
- Maes, Pattie, e Daniele Nardi. 1987. "The First International Workshop on Meta-level Architectures and Reflection. Alghero, Italy, October 27-30, 1986." *AI Communications*. 0 (1): 49-51.
- Marinai, Simone, Marco Gori, e Giovanni Soda. 2005. "Artificial Neural Networks for Document Analysis and Recognition." *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 27 (1): 23-35.

- Martelli, Alberto, e Ugo Montanari. 1973. "Additive AND/OR Graphs." Martelli, Alberto, e Ugo Montanari. 1975. "From Dynamic Programming to Search Algorithms with Functional Costs." In *Proceedings of the IJCAI-75*, 345-350.
- Martelli, Alberto, e Ugo Montanari. 1977. "Theorem Proving with Structure Sharing and Efficient Unification." In *Proceedings of the IJCAI-77*, 543.
- Martelli, Alberto, e Ugo Montanari. 1982. "An Efficient Unification Algorithm." *ACM Trans. Program. Lang. Syst.* 4 (2): 258-282.
- Martini, Simone. 2024. "The early years of Italian Theoretical Computer Science, in Pisa." In *Chemins croisés entre les mathématiques, la biologie et l'épistémologie*, a cura di M. Montévil, et al., Éditions Spartacus-Idh.
- McCarthy, John, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester, e Claude E. Shannon. 1955 "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence." Ristampata in *AI Magazine* 27 (4) (2006):12-14.
- Milano, Michela, e Francesca Rossi. 2006. "Constraint Programming." *Intelligenza Artificiale* 3 (1-2): 28-34.
- Mogavero, Fabio, Aniello Murano, Giuseppe Perelli, e Moshe Y. Vardi. 2014. "Re-asoning About Strategies: On the Model-Checking Problem." *ACM Transactions on Computational Logic* 15 (4): 34:1-34:47.
- Montali, Marco, Maja Pesic, Will M. P. van der Aalst, Federico Chesani, Paola Mello, e Sergio Storari. 2010. "Declarative Specification and Verification of Service Choreographies." *ACM Transactions on the Web* 4 (1): 1-62.
- Montanari, Ugo. 1970. "Heuristically Guided Search and Chromosome Matching." *Artificial Intelligence Journal* 1 (4): 227-245.
- Montanari, Ugo. 1974. "Networks of Constraints: Fundamental Properties and Applications to Picture Processing." *Information Science* 7: 95-132.
- Montangero, Carlo, Giuliano Pacini, e Franco Turini. 1975. "MAGMA-LISP: A "Machine Language" for Artificial Intelligence." In *Proceedings of the IJCAI-75*, 556-561.
- Muscettola, Nicola, Stephen F. Smith, Amedeo Cesta, e Daniela D'Aloisi. 1992. "Coordinating Space Telescope Operations in an Integrated Planning and Scheduling Architecture." *IEEE Control Systems Magazine*. 12(1): 28-37.
- Oddi, Angelo, e Nicola Policella. 2007. "Improving Robustness of Spacecraft Downlink Schedules." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics C* 37(5).
- Poggi, Antonella, Domenico Lembo, Diego Calvanese, Giuseppe De Giacomo, Maurizio Lenzerini, e Riccardo Rosati. 2008. "Linking Data to Ontologies." *Journal of Data Semantics* 10: 133-173.
- Reiter, Raymond, e Giovanni Crisculo. 1981. "On Interacting Defaults." In *Proceedings of the IJCAI-81*, 270-276.
- Riguzzi, Fabrizio. 2023. *Foundations of Probabilistic Logic Programming: Languages, Semantics, Inference and Learning*, 2 ed. Gistrup (Denmark.): River Publishers.
- Riguzzi, Fabrizio, Elena Bellodi, Evelina Lamma, e Riccardo Zese. 2015. "Reasoning with Probabilistic Ontologies." In *Proceedings of the IJCAI-2015*, 4310-4316.
- Russell, Stuart, e Peter Norvig. 2020. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4. ed. Pearson.
- Saccà, Domenico, e Carlo Zaniolo. 1990. "Stable Models and Non-Determinism in Logic Programs with Negation." In *Proceedings of the ACM PODS*, 205-217.
- Schaerf, Marco, e Marco Cadoli. 1995. "Tractable Reasoning via Approximation." *Artificial Intelligence Journal* 74 (2): 249-310.
- Serra, Roberto, Marco Villani, e Luca Agostini. 2004. "On the Dynamics of Random Boolean Networks with Scale-free Outgoing Connections." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 339 (3-4):665-673.
- Serra, Roberto, e Gianni Zanarini. 2013. *Complex Systems and Cognitive Processes*. Springer Science & Business Media.
- Somenzi, Vittorio, cur. 1953. *I principi della cibernetica e dei servomeccanismi*. Laboratorio multigrafico dell'Ufficio studi S.M.A.M.
- Somenzi, Vittorio, cur. 1965. *La filosofia degli automi*. Torino: Boringhieri.
- Somenzi, Vittorio, e Roberto Cordeschi, cur. 1986. *La filosofia degli automi*. Torino: Boringhieri.
- Sperduti, Alessandro, Antonina Starita, e Christoph Goller. 1995. "Learning Distributed Representations for the Classification of Terms." In *Proceedings of the IJCAI-95*, 509-517.
- Sperduti, Alessandro, e Antonina Starita. 1997. "Supervised Neural Networks for the Classification of Structures." *IEEE Trans. Neural Networks* 8 (3): 714-735.
- Stock, Oliviero, e Marco Schaerf, cur. 2006. *Reasoning, Action and Interaction in AI Theories and Systems, Essays Dedicated to Luigia Carlucci Aiello*. Lecture Notes in Computer Science 4155, Springer.
- Suriani, Vincenzo, Emanuele Musumeci, Daniele Nardi, e Domenico Daniele Bloisi. 2023. "Play Everywhere: A Temporal Logic based Game Environment Independent Approach for Playing Soccer with Robots." In *Proceedings of the RoboCup-23 Best Paper Award*, Lecture Notes in Computer Science 14140 Springer.
- Trautteur, Giuseppe, cur. 1995. *Consciousness: Distinction and Reflection*. Napoli: Bibliopolis.

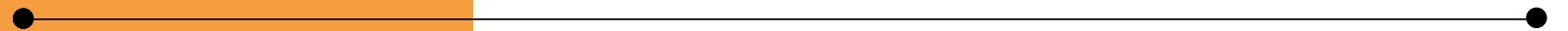
<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-29>

30

Oliviero Stock

**Natural Language Processing
in Italia: gli inizi**

**Linee
di ricerca**



La sfida

La capacità di comprendere automaticamente il contenuto di testi ed espressioni in lingua umana e di produrle ha costituito un'ambizione dell'intelligenza artificiale fin dal suo inizio. Nel corso delle discussioni al workshop estivo che si tenne a Dartmouth nel 1956, considerato il momento iniziale dell'intelligenza artificiale, la comprensione del linguaggio aveva una parte fondamentale. È evidente che la capacità linguistica è un aspetto caratterizzante la nostra specie e dunque elemento imprescindibile della sfida dell'IA¹.

Come è noto, lo stesso test di Turing è basato sulla capacità da parte di un sistema artificiale di interagire linguisticamente in un modo che non sarebbe distinguibile da quello di un umano. Naturalmente, il test non va visto in modo superficiale – come spesso si trova riportato – è invece una sorta di paradigma che consente di non definire l'intelligenza stessa, ma di rimandare l'obiettivo alla riproduzione di comportamento umano, lasciando all'osservatore stesso il giudizio sul risultato.

Costituisce un problema il fatto che è estremamente facile riprodurre aspetti superficiali del linguaggio e talvolta con questo dare l'impressione dell'intelligenza. Per questo e per i molti pericoli compresi in un approccio eccessivamente superficiale, è utile leggere ancora oggi i *caveat* di Joseph Weizenbaum, autore di un celebre e semplice sistema di interazione basato su pattern linguistici (ELIZA). Nel suo libro (Weizenbaum 1976) si trovano molti elementi di rinnovata attualità.

I principali settori applicativi, cui nel tempo si sono aggiunti molti altri più specifici, sono: comprensione di testi, sommarizzazione automatica, interrogazione di basi di dati, dialogo e interazione linguistica, produzione di testi, traduzione automatica. Oltre a questi settori vi è il campo (per molto tempo quasi indipendente) del riconoscimento del parlato e successivamente, dell'interpretazione e della produzione di parlato. Per una visione complessiva e moderna si veda l'ultima versione del volume di Daniel Jurafsky e James Martin (Jurafsky e Martin 2023).

La ricerca italiana ha partecipato a questa sfida in modo non irrilevante².

Preistoria

Tecnologia linguistica prima del computer

Possiamo dire che la storia della tecnologia linguistica è lunga cinquemila anni e comincia con l'introduzione della scrittura quale strumento tecnologico per la conservazione del messaggio linguistico nel tempo. Gli sviluppi successivi furono piuttosto lenti: i più importanti prima dell'era moderna furono l'introduzione di un alfabeto simile a

1. Si veda in questo volume il contributo di Luigia Carlucci Aiello "Intelligenza artificiale, rappresentazione della conoscenza".

2. Questo è un lavoro che si prefigge di dare un quadro storico del Natural Language Processing (NLP) in Italia, quindi, ha un'ottica presbite, con una maggiore focalizzazione sui periodi più lontani e pionieristici del campo.

quelli attualmente in uso nel mondo occidentale avvenuta circa trentaquattro secoli fa (di cui si trova evidenza negli scavi di Ugarit e in recenti scoperte a Lachish) e, molto dopo, nel Quindicesimo secolo, l'invenzione della stampa a caratteri mobili in Europa da parte di Johannes Gutenberg il quale seppe unire i vantaggi di un alfabeto con pochi elementi e l'invenzione della carta avvenuta in Cina un millennio e mezzo prima. Si deve giungere ai tempi moderni per vedere reali sviluppi per il linguaggio, con una tecnologia che consente di trasportarlo nello spazio trasmettendolo a distanza – e per portarlo attraverso il tempo – conservando lo stesso linguaggio parlato. Sappiamo che molti italiani diedero un importante contributo tecnologico, talvolta controverso, a partire dagli stampatori quattrocenteschi fino a Meucci, Marconi e numerosi altri.

I primi usi dell'informatica per i testi in Italia

Fin dalla prima apparizione degli elaboratori elettronici, in Italia si sviluppò un'attenzione specifica per il loro utilizzo nell'ambito degli studi letterari e umanistici. Tra i primi a utilizzare l'informatica per il trattamento di testi (dopo aver già utilizzato strumenti elettromeccanici) vi fu il gesuita Padre Roberto Busa. Il suo obiettivo era quello di trarre vantaggio dal computer per realizzare compiti relativi allo studio del *Corpus* della tomistica. Attraverso lemmatizzazione (il passaggio dalla forma di una parola al suo lemma) e la ricerca sulle concordanze tra parole nel testo, poté ricavare dati quantitativi sull'uso di termini e affrontare aspetti qualitativi in modo più rigoroso e molto più efficiente di quanto si usava fare a mano. Il suo progetto, partito con il supporto dell'IBM dopo l'incontro con Thomas Watson nel 1949 – che poi fornì a Pisa un elaboratore 7090 – portò alla realizzazione dell'*Index Thomisticus*, un progetto che durò una trentina d'anni. In questo contesto si avviarono vari studi di lessicografia.

Sull'onda di questo impulso, nel 1968 il CNUCE di Pisa, allora Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico sorto appunto con il supporto dell'IBM, fece partire la Divisione linguistica, affidandone la responsabilità ad Antonio Zampolli. Il CNUCE fu integrato nel CNR nel 1974 e, nel 1978, la Divisione linguistica divenne Laboratorio di linguistica computazionale del CNR (dal 1980 Istituto di Linguistica Computazionale del CNR)³. Zampolli proseguì con varie attività legate a risorse linguistiche, lessicografia, dizionari macchina e analisi di testi, con la continua collaborazione di Nicoletta Calzolari, e con quella di Andrea Bozzi, fondamentale per la tecnologia di aiuto alla traduzione di testi antichi e filologia classica computazionale, temi che appartengono all'area delle digital humanities⁴.

Da ricordare è anche Silvio Ceccato, filosofo e cibernetico interessato ai costrutti mentali che si occupò, già negli anni Cinquanta, di traduzione automatica.

3. Si veda nel volume 1 il contributo di Domenico Laforenza, "Storia della nascita degli Istituti informatici CNR" a Pisa.

4. In questo articolo ci si limiterà a parlare di elaborazione del linguaggio naturale, con una prospettiva di comprensione e produzione di linguaggio. Per una storia della nascita delle *digital humanities* in Italia si veda il contributo di Marina Buzzoni in questo volume.

Il panorama scientifico di contesto, al passaggio tra anni Sessanta e Settanta

Lo sviluppo della linguistica matematica, secondo tradizioni diverse e con vari contributi, portò negli anni Cinquanta e Sessanta del secolo scorso all'affermarsi di correnti di studio rigorose. Possiamo annoverarne due come le tradizioni influenti: la Teoria dell'informazione di Claude Shannon e il connesso studio della struttura statistica dei testi, da una parte; dall'altra, l'approccio per così dire algebrico ovvero la costruzione di modelli della struttura fonologica e sintattica delle lingue.

Questa seconda impostazione (con Zellig Harris e poi con Noam Chomsky) trovò espressione nel concetto di linguistica generativa. Nei primi studi degli anni Cinquanta veniva definito l'aggancio alla Teoria della computazione e al concetto di Macchina di Turing e da questo si poteva specializzare una gerarchia di linguaggi formali – dipendente dal contesto, libero dal contesto, o a stati finiti – e studiarne le proprietà astratte. In studi successivi, Chomsky introdusse il concetto di grammatica trasformazionale, che modellava in modo abbastanza accurato le caratteristiche dell'inglese e di molte altre lingue naturali.

Le due tradizioni, in pratica, avevano poco a che spartire. La prima (parliamo sempre dell'ambito strettamente legato al linguaggio naturale), oltre a trovare applicazione per l'information retrieval, fu soprattutto alla base della stilistica e (e naturalmente fu influente per tutti i compiti di riconoscimento, quindi, per quello del parlato). La seconda, fu quella che portò alle prime generazioni di linguisti computazionali interessati alla comprensione del linguaggio.

Va detto per inciso, che in Italia la linguistica formale (la seconda tradizione) si sviluppò a un livello molto alto, con numerosi scienziati che erano considerati nella prima cerchia dei seguaci di Chomsky.

Oltre alla linguistica matematica, bisogna citare alcuni altri campi che fecero da contesto preliminare allo sviluppo computazionale. Per quanto riguarda la semantica, il riferimento fondamentale è la lunga tradizione di studi logici (basti menzionare Rudolf Carnap, Alfred Tarski e Willard Van Orman Quine) che si affermò negli anni Cinquanta e Sessanta.

Ma, oltre a questo, in quel periodo si sviluppano gli studi in psicologia cognitiva. In realtà gli studi sulla cognizione, come quelli sulla computazione, possono essere fatti risalire agli anni Trenta, ad esempio con lo studio sulla memoria di Frederic C. Bartlett (1932). Negli anni Sessanta si sviluppò, con rigore scientifico, un approccio cognitivista a vari aspetti del linguaggio, quello sociale e interpersonale, quello legato alla modellizzazione delle conoscenze e all'accesso a esse, quello delle scelte interpretative contestuali, per citare alcuni dei principali.

In questo contesto, va ricordato un grande filantropo italiano che diede impulso a un centro scientifico di fondamentale importanza. Parlo di Angelo Dalle Molle, visionario imprenditore veneto con un'autentica passione per gli studi cognitivi, per l'informatica e il linguaggio. Nel 1971 egli creò a Lugano, presso la Villa Heleneum, la Fondazione Dalle Molle per gli Studi Linguistici, il cui scopo era condurre ricerche sulla semantica computazionale e sui sistemi di traduzione automatica. Essa divenne presto un punto di attrazione per molti scienziati provenienti da tutto il mondo.

Gli inizi

L'emergere del Natural Language Processing

Il primo impegno organizzato per compiti complessi di analisi, di per sé non focalizzati su obiettivi limitati all'analisi lessicografica, fu indirizzato alla traduzione automatica. Tuttavia, negli anni Cinquanta e per buona parte degli anni Sessanta, le tecniche non andarono molto al di là della traduzione parola per parola o per piccoli gruppi di parole. Gli scarsi risultati ottenuti e il prevalere di ragionamenti teorici avversi portarono alla formulazione del rapporto ALPAC del 1966, che espresse un parere negativo sull'impresa e bloccò lo sviluppo della traduzione automatica negli stessi Stati Uniti per molto tempo. Ma fu allora, sul finire degli anni Sessanta che cominciarono ad apparire i primi sistemi volti all'analisi di frase, soprattutto indirizzati all'interrogazione di specifiche basi di dati o ad altri compiti limitati.

Anche l'associazione scientifica di riferimento, l'Association for Machine Translation and Computational Linguistics (AMTCL) fondata nel 1962 e con un centinaio di soci, nel 1968 fu rinominata Association for Computational Linguistics (ACL). L'associazione, allora estremamente esclusiva e sofisticata, è ancora il punto di riferimento mondiale nel campo – con numero di membri maggiore di due ordini di grandezza rispetto agli anni iniziali.

Fu all'alba degli anni Settanta che si consolidarono le ambizioni dell'IA per quanto concerne il linguaggio naturale e venne introdotto il termine Natural Language Processing (NLP). Un tema applicativo cruciale che emerse allora fu quello della comunicazione tra persona ed elaboratore in linguaggio naturale, che richiedeva maggiore generalità nell'analisi e maggiore complessità di componenti. Fu allora che il campo affermò una sua vera dignità scientifica. Tre furono i principali progetti con quest'ambizione che, in quella fase, definirono il campo:

- Il LUNAR System, un prototipo di ricerca sviluppato per anni alla BBN (Bolt, Beranek and Newman), volto al *question answering*, sotto la guida di William Woods. Il progetto comprendeva un sofisticato sistema di *parsing*, basato su Augmented Transition Networks (ATN) evoluzione delle reti di transizione ricorsive. Esse avevano la stessa capacità della macchina di Turing ed erano in grado di accomodare le grammatiche trasformazionali; inoltre, l'approccio includeva alcuni aspetti derivati dalla ricerca in psicolinguistica. Vi era poi un componente più *ad hoc* che si occupava della semantica, onde poter mappare il significato delle frasi dell'utente in richieste alla base di dati. Questo componente semantico fu il punto di partenza per molta della successiva ricerca su rappresentazione della conoscenza basata su reti e per quelle che vennero poi chiamate logiche descrittive.
- SHRDLU, un sistema di dialogo sviluppato da Terry Winograd allo MIT. SHRDLU consentiva l'interazione in linguaggio, in relazione a un dominio fisico elementare – il mondo dei blocchi – comprendente un piano, una scatola, cuboidi e piramidi. Il sistema cambiava la configurazione del mondo dei blocchi con azioni robotiche (vir-

tuali) sulla base del dialogo con l'utente. Le interfacce grafiche erano di là da venire, non c'era una vera grafica ma una forma di rappresentazione del mondo dei blocchi minimalista, per poterne verificare lo stato, e il canale di comunicazione tra utente e sistema era ristretto alla linea di telescrivente. L'aspetto innovativo di SHRDLU era che combinava analisi di frase, rappresentazione del dominio e interpretazione semantica, nonché qualche elemento di pragmatica, che, ad esempio, consentiva attraverso processo logico, di trovare il referente di un pronome o qualche semplice elemento di causalità. Inoltre, esso pianificava le proprie azioni di spostamento di blocchi. Il sistema era scritto in MAClisp e si avvaleva del Microplanner quale linguaggio per il ragionamento, sviluppato in quei tempi al MIT.

- Per il progetto di Roger Schank, a Yale, bisognerebbe parlare, piuttosto, di un'impostazione generale di tipo concettuale e cognitivista quasi completamente indipendente dal resto del campo. Il punto di partenza fu lo sviluppo di un analizzatore per dipendenze concettuali, cui seguirono una serie di altre realizzazioni. Queste, sviluppate per vari anni, facevano riferimento ad aspetti allora innovativi, a scapito di analisi sintattica e semantica rigorosa: cognizione e memoria episodica, contesto, ragionamento basato su casi, struttura del racconto e discorso, conoscenze e pragmatica. Tutto questo costituì un grande impegno anche ideologico che, con le sue teorie e i suoi prototipi, esercitò grande fascino in quel tempo, anche se non poteva essere considerato troppo seriamente da chi seguiva approcci più formali.

Questi tre furono i principali programmi che agganciarono profondamente la linguistica computazionale all'IA e resero *natural language processing* un termine centrale nell'ambiente IA.

I primi sistemi di NLP in Italia: gli anni Settanta

Il primo *parser* – analizzatore generale – sviluppato in Italia fu una versione dell'ATN corredato da una grammatica per l'italiano, nel formato di rete di transizione ricorsiva estesa.

ATNSYS (Stock 1976), questo era il suo nome, era in grado di fornire l'albero sintattico di frasi complesse; la prima che analizzò quando il sistema fu pronto per essere messo alla prova fu: "Il bel topolino era supposto essere stato mangiato dal gatto." Il sistema era implementato in Magma LISP (Montanero et al. 1975), versione del LISP realizzata a Pisa, che comprendeva anche una modalità di gestione del nondeterminismo, permettendo, ad esempio, di salvare stati della computazione e di potervi rientrare successivamente. Una delle modalità semplici di utilizzo era quella di realizzare il *backtracking* cronologico. Questi aspetti erano di grande importanza, visto che caratteristica imprescindibile delle lingue naturali è l'ambiguità locale – e spesso si verifica ambiguità nell'analisi complessiva. Ad esempio, nella prima frase analizzata, riportata più in alto, la struttura risultante può essere quella che corrisponde in sostanza a "qualcuno supponeva che il gatto avesse mangiato il topo" o, anche, a "il gatto supponeva che qualcuno avesse mangiato il topo." Venne svolto anche del lavoro sperimentale che integrava meccanismi di scelta probabilistica nei punti nondeterministici, onde aumentare la penetranza dell'algoritmo.

ATNSYS venne realizzato nel 1976 da Oliviero Stock, risultato della tesi di specializzazione in Calcolo Automatico dell'Università di Pisa, all'Istituto di elaborazione dell'informazione del CNR (IEI), con *thesis advisor* Franco Sirovich. Pisa era un centro di rilevanza internazionale per l'IA e ai corsi dell'IEI insegnavano, oltre a Franco Sirovich, vari docenti di primissimo piano nel campo, ancorché molto giovani: Luigia Carlucci Aiello, Alberto Martelli, Giuseppe Attardi. In questo contesto si inserì questo lavoro di NLP che suscitò interesse in un gruppo del Laboratorio di linguistica computazionale, comprendente Giacomo Ferrari, Amedeo Cappelli, Irina Prodanof e Lorenzo Moretti, con cui si sviluppò una collaborazione volta alla costruzione di un'ampia grammatica computazionale per l'italiano, lo sviluppo di un componente di semantica lessicale e altro.

In campo applicativo, con un'ottica più focalizzata su dominio e interazione circoscritta, nella seconda metà degli anni Settanta partì un progetto al Politecnico di Milano, con Marco Somalvico e Giovanni Guida. La parte originaria dell'analisi linguistica era stata importata da un lavoro sviluppato all'Università di Grenoble (Courtin 1977). Questa era stata poi adattata ed erano stati impostati una serie di altri moduli, in particolare per poter realizzare un sistema di interazione in linguaggio naturale, un sistema con un robot e capacità di estrazione di informazioni in un dominio *specifico*.

In quel periodo, le *International Summer School on Mathematical and Computational Linguistics*, organizzate da Antonio Zampolli a Pisa, ebbero un ruolo molto importante per la proiezione internazionale di vari giovani in Italia. Lo ebbe soprattutto la seconda, quella del 1977, che ebbe tra i docenti molti dei più grandi del campo, da Martin Kay a Eva Hajičová, da Ron Kaplan a George Lakoff, da Charles Fillmore a Michael A.K. Halliday, da Joan Bresnan a Yorick Wilks e, tra i docenti giovani, Luc Steels.

Riconoscimento del parlato

Un discorso a parte va fatto per lo Automatic Speech Recognition (ASR) in Italia negli anni Settanta. Il riconoscimento del segnale ha una tradizione più lunga e questo portò direttamente ai primi studi sul riconoscimento acustico e fonetico.

Uno dei primi lavori fu la tesi di dottorato di Renato De Mori al Politecnico di Torino, volta al riconoscimento di fonemi. Nel 1976 venne pubblicato su PAMI un lavoro di De Mori e altri, volto al riconoscimento di sillabe in parlato continuo.

Dalla seconda metà degli anni Settanta le attività di ASR cominciarono a includere tecniche di intelligenza artificiale, come il *syntactic pattern recognition*, e, al passaggio agli anni Ottanta, gli algoritmi *fuzzy*. Intorno a questi temi, oltre alla collaborazione con Pietro Laface del Politecnico – e poi, per quanto riguardava learning e algoritmi fuzzy per il riconoscimento, con Lorenza Saitta – vennero avviati anche Pietro Torasso e Leonardo Lesmo, entrambi all'Università di Torino dove De Mori aveva ricevuto la cattedra. Lesmo successivamente si spostò con successo sui temi centrali del Natural Language Processing, indipendentemente dal riconoscimento del parlato. Anche Torasso dopo essersi dedicato con notevole successo a questo ambito si concentrò, nel seguito, su altri temi di IA.

Sempre per quanto concerne il parlato, il Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni (CSELT), appartenente al gruppo STET, era attivo con una prospettiva applica-

tiva. Nel 1974 il Centro presentò il primo sintetizzatore vocale in tempo reale italiano – uno dei primi nel mondo – MUSA, prodotto dal gruppo guidato da Giulio Modena. Nel 1978 il gruppo dello CSELT era la sola realtà industriale al mondo “oltre alla statunitense AT&T” a disporre di una tecnologia di sintesi vocale di interesse commerciale.

La mappa italiana alla fine degli anni Settanta

Nel 1977 l'AICA formò il Gruppo di Lavoro in Intelligenza Artificiale (GLIA) di cui fu primo coordinatore Sandro Incerti fino al 1986. In considerazione dell'importanza dello NLP, l'AICA, tramite il GLIA, organizzò a Milano il 18 maggio 1979 una giornata di lavoro sul tema *Comprensione del linguaggio naturale*. Gli atti vennero pubblicati sulla Rivista di Informatica, organo dell'AICA (AICA 1980).

Questi sono i titoli degli articoli ivi contenuti:

- *Analisi di un testo italiano con un analizzatore ATN*, Amedeo Cappelli, Giacomo Ferrari, Lorenzo Moretti, Irina Prodanof, Oliviero Stock (Laboratorio di linguistica computazionale del CNR, Pisa).
- *La conoscenza di una base di dati come supporto all'interpretazione di richieste in linguaggio naturale*, Piero Dell'Orco (Centro Scientifico IBM, Roma).
- *Interactivity and Incrementality in Natural Language Understanding Systems*, Giovanni Guida, Marco Somalvico (Politecnico di Milano).
- *I sistemi cognitivi come strumento generale per la rappresentazione delle conoscenze*, Giovanni Lariccia, Donatella Piras, Giovanni Toffoli (Istituto Applicazioni del Calcolo e Istituto di Psicologia del CNR, Roma).
- *Sistemi per la comprensione del linguaggio parlato*, Leonardo Lesmo, Pietro Torasso (Istituto di Scienze dell'informazione, Università di Torino).
- *Riconoscimento delle frasi: un modello con output semantico*, Domenico Parisi, Cristiano Castelfranchi (Istituto di Psicologia del CNR, Roma).

Possiamo dire che in Italia, alla fine degli anni Settanta, erano attivi molti gruppi in NLP, tra cui elenchiamo:

- Laboratorio di linguistica computazionale del CNR di Pisa, con Amedeo Cappelli, Giacomo Ferrari, Lorenzo Moretti, Irina Prodanof e Oliviero Stock.
- Politecnico di Milano, con Giovanni Guida e Marco Somalvico.
- Università di Torino con Renato De Mori, Leonardo Lesmo, Pietro Torasso.
- Politecnico di Torino con Pietro Laface.
- Istituto di psicologia del CNR, di Roma, con Domenico Parisi, Cristiano Castelfranchi, Giovanni Lariccia.
- CSELT di Torino, con Claudio Rullent e altri.
- Centro Scientifico IBM, Roma, con Piero Dell'Orco.

L'Italia era già presente ai più alti livelli del panorama scientifico internazionale. Come indice di affermazione, possiamo citare le presenze nei due atti di convegno più

prestigiosi e selettivi: quelli dell'*IJCAI, International Joint Conference on Artificial Intelligence* e quelli del *Meeting dell'ACL, Association for Computational Linguistics*⁵.

L'*IJCAI*, oltre a sessioni dedicate allo NLP, aveva sessioni per il riconoscimento del parlato, dove troviamo (De Mori, Rivoira, e Serra 1975) e sessioni per contesti applicativi comprendenti linguaggio, dove troviamo (Dell'Orco, King, e Spadavecchia 1977), (Guida e Somalvico 1979) e (Torasso, Lesmo, e Magnani 1981).

L'ACL era quasi un circolo esclusivo, con convegni annuali che cominciarono a pubblicare gli atti solo nel 1979, in occasione del 17° meeting. I partecipanti al convegno, che si teneva sempre in America, erano allora circa trecento, ed erano presenti tutti i migliori ricercatori del campo. I primi atti dei meeting erano formati da soli 25 articoli. Tra questi troviamo (Ferrari e Stock 1980).

Consolidamento

I temi e i gruppi di ricerca in Italia: gli anni Ottanta

Gli anni Ottanta vedono un consolidamento del settore in Italia, un ampliamento dei temi, una maggiore solidità delle basi scientifiche, una piena partecipazione alla vita dell'intelligenza artificiale italiana e un allargamento della comunità dei cultori del campo.

Il Natural Language Processing comincia a essere visto con maggiore rigore e ampiezza. Nel *parsing*, si sviluppano modelli e sistemi allineati con le tendenze prevalenti nella comunità scientifica, sia per quanto riguarda il tenere conto della complessità degli algoritmi, che per il combinare grammatiche centrali con informazioni distribuite nel lessico. Inoltre, per chi lavora sull'italiano, bisogna tenere conto del fatto che è una lingua a ordinamento delle parole più flessibile rispetto all'inglese.

In questi anni si intensifica il lavoro sulla semantica lessicale. Questo significa: a) sviluppo di lessico macchina; b) sviluppo di rappresentazione della conoscenza per la cosiddetta componente terminologica, quindi, in aggancio con la rappresentazione della conoscenza; c) sviluppo di tecniche per l'interazione tra sintassi e semantica.

Comincia, anche, a svilupparsi il campo della generazione di linguaggio, cioè di produzione di frasi e testi a partire da rappresentazioni interne. Questa richiede prima di tutto la generazione “tattica”, ossia la produzione di una frase corretta (concettualmente l'inverso del *parsing*) con la giusta scelta lessicale.

5. Nota metodologica: prendiamo come indicatori, almeno per questa prima fase, solo i due ambiti più prestigiosi e selettivi: *IJCAI* e *ACL*. Nel 1980 partiranno poi le conferenze nazionali dell'AAAI, l'American Association for Artificial Intelligence, il cui livello non è lontano da quello dell'*IJCAI*. Un'altra conferenza rilevante è l'*ANLP, Applied Natural Language Processing*, sempre dell'ACL. Inoltre, due riviste emergono: *Artificial Intelligence* e *American Journal of the ACL* (poi chiamato *Computational Linguistics*). Queste, tuttavia, non presentavano ancora pubblicazioni italiane nel settore. A partire dagli anni Ottanta, avendo maggiore spazio, si potrebbero citare anche articoli alle due principali conferenze europee, che cominciarono allora: *ECAL, European Conference on AI* e la *Conference of the ACL-European Chapter*. Un'altra nota conferenza internazionale del settore è *COLING*. In generale, per gli atti di conferenze, consideriamo appartenere al decennio di attività scientifica per gli anni Settanta gli atti del 1981. Così nel seguito, consideriamo appartenere agli anni Ottanta gli atti del 1991. Infine, mi scuso per ogni possibile dimenticanza di contributi o interpretazione non accurata.

D'altra parte, essa richiede anche che ci sia un componente strategico, che definisca la struttura retorica del testo.

In questo contesto, in particolare, comincia a farsi spazio la ricerca sugli aspetti di pragmatica: prima di tutto l'aggancio alla filosofia del linguaggio. Comunicare linguisticamente è un atto intenzionale, per cui chi parla cerca di cambiare lo stato del mondo intervenendo con il messaggio linguistico sulla mente degli ascoltatori. In certi casi lo stesso parlare cambia lo stato del mondo: è il caso di espressioni performative come "vi dichiaro marito e moglie" pronunciate da un'autorità riconosciuta a farlo. Quindi, gli aspetti legati agli atti linguistici si interconnettono in particolare con l'analisi della struttura lessicale. Nello stesso tempo si collegano alla struttura complessiva del discorso, più specificatamente del dialogo. Per questo si riescono a interpretare in un contesto forme che possono avere una diversa valenza. Ad esempio, "Sai dov'è l'ospedale?" può essere una richiesta volta a ottenere informazioni oppure un'offerta di fornire informazioni. Un altro tema importante riguarda la coesione nel discorso, l'uso di riferimenti, ad esempio, con pronomi o espressioni nominali definite, che per essere interpretati correttamente devono basarsi sulla struttura del discorso e su aspetti cognitivi quali la memoria.

Il tema della gestione degli atti linguistici si connette direttamente con gli studi di IA, solitamente a base logica, legati ai meccanismi *Belief Desire Intention* (BDI) che sottostanno al concetto di agente intelligente prima ancora che di agente comunicativo.

Sui temi accennati sopra si sviluppa, a partire dalla prima parte degli anni Ottanta, la specifica attività di ricerca in Italia; a volo d'uccello vediamo i principali gruppi, i ricercatori di riferimento e quali sono alcuni dei principali temi a cui contribuiscono.

Si afferma un forte gruppo al Dipartimento di Informatica di Torino, con Leonardo Lesmo e, in una prima fase, Pietro Torasso. Vi parteciperanno, tra gli altri, Barbara Di Eugenio, Paolo Terenziani e Vincenzo Lombardo. Il loro lavoro comprende aspetti di ricerca di base – in particolare un approccio deterministico al *parsing* – analisi di congiunzioni, di articoli determinativi e temi di interazione tra sintassi e semantica. Vi è un lavoro al meeting dell'*ACL* (Lesmo e Torasso 1985a) e due nei *proceedings* dell'*IJCAI* (Lesmo e Torasso 1985b, Di Eugenio e Lesmo 1987).

A Roma – inizialmente intorno al Centro Scientifico IBM e, dopo un periodo alla Sapienza – all'Università di Tor Vergata, si forma un gruppo di ricerca centrato su Maria Teresa Pazienza e Paola Velardi che, tra gli altri temi, nella seconda parte degli anni Ottanta conduce ricerca su rappresentazione del significato e struttura lessicale, con un lavoro presentato all'*ACL* (Velardi e Pazienza 1989).

Al Politecnico di Milano, Marco Somalvico e Giovanni Guida lavorano a un progetto applicativo con il gruppo di analisi del parlato dello CSELT di Torino. Il lavoro, riguardante l'interazione tra sintassi e semantica nel contesto applicativo di *query* per l'accesso a basi di dati, è presentato all'*IJCAI* (Comino et al. 1983).

Sempre al Politecnico di Milano, autonomamente, un altro gruppo con Marco Colombetti e lo psicologo cognitivo Bruno Bara porta avanti ricerca su pragmatica conversazionale, in particolare su pianificazione di atti perlocutivi (cioè sulla pianificazione dell'inteso effetto che avranno le espressioni linguistiche usate sul comportamento, linguistico e no, dell'ascoltatore). Il lavoro è presentato all'*IJCAI* (Airenti, Bara, e Colombetti 1983).

All'Università di Udine si forma un forte gruppo a seguito dello spostamento di Giovanni Guida da Milano e l'emergere di Carlo Tasso. Del gruppo fa parte anche Danilo Fum, psicologo con forte interesse per l'IA. I temi principali dei contributi del gruppo sono: interfaccia in linguaggio naturale per l'accesso a basi di dati; tecniche per l'estrazione di contenuti importanti in testi, soprattutto volte alla sommarizzazione automatica (Fum, Guida, e Tasso 1985); tutoring automatico di lingue straniere e modellazione dello studente.

All'Università Ca' Foscari di Venezia, Rodolfo Del Monte da studi linguistici si sposta su linguistica computazionale, inizialmente su temi di analisi fonologica dell'italiano.

All'Università di Genova, Giovanni Adorni lavora a temi di elaborazione del linguaggio in relazione alla scena visuale. Lo fa anche in contesto di tutoring e coinvolgendo ricerca su ragionamento sul senso comune (Adorni, Di Manzo, e Giunchiglia 1983).

Il gruppo all'Istituto di Linguistica Computazionale di Pisa prosegue l'attività intorno a strategie di analisi sintattica. Sviluppa, inoltre, la ricerca su rappresentazione di concetti ispirata dal KL-One introdotto alla BBN, utile per l'analisi semantico-lessicale, che viene presentato all'*IJCAI* (Cappelli, Moretti, e Vinchesi 1983).

Va, inoltre, ricordato che Giacomo Ferrari è l'organizzatore della prima *Conference of the European Chapter of the ACL, EACL*, che si tiene a Pisa nel 1983.

Presso l'Istituto di Psicologia del CNR si allarga il gruppo di Cristiano Castelfranchi e Domenico Parisi, con l'arrivo di Oliviero Stock. Vi è ricerca visionaria da parte dei primi due su temi di pragmatica, in particolare riguardante la modellazione del linguaggio basato su BDI. Si sviluppa un progetto computazionale integrante risultati derivati dalla ricerca in psicolinguistica, che poi si concentra su *parsing* trattabile (*chart parsing*), elaborazione dinamica di strategie di analisi, disambiguazione a base semantica e analisi di forme idiomatiche (Stock 1985).

A conferma della qualità della ricerca in Italia, vi sono i primi articoli italiani pubblicati sulla rivista *Computational Linguistics* (Stock 1989) e (Velardi, Pazienza, e Fasolo 1991).

Nella seconda parte degli anni Ottanta, si realizza a Trento un nuovo, grande istituto dedicato all'IA: l'IRST. Il fondatore e direttore, Luigi Stringa, offre a Stock l'opportunità di formare e coordinare un gruppo di NLP. Stock si sposta a Trento dove ha la possibilità di attrarre molti giovani di qualità: tra questi, Bernardo Magnini, Carlo Strapparava, Giorgio Satta, Alberto Lavelli, Enrico Franconi, Fabio Pianesi, Giuseppe Carenini. L'approccio è multidisciplinare, oltre a informatici e matematici fanno parte del gruppo linguisti, psicologi e filosofi. Le attività di ricerca sono distribuite tra i membri del gruppo su tutti i temi principali dello NLP: *parsing*, con particolare sviluppo di *chart parsing* bidirezionale (Satta e Stock 1989; Satta e Stock 1991), semantica lessicale, semantica della frase, rappresentazione della conoscenza, generazione, pragmatica e struttura del dialogo.

Sulla scena internazionale, il gruppo di NLP di Trento è uno dei proponenti del concetto di multimodalità comunicativa. Avvia un progetto che comprende le varie componenti linguistiche, con lo scopo di proporre un ambiente in cui le diverse possibilità di interazione siano integrate in modo naturale. La gestione del dialogo deve includere un coordinatore dell'azione comunicativa che sia responsabile del corretto utilizzo dei media (e quindi, ad esempio, tenga conto del contesto deittico in qualsiasi

momento dell'interazione). Soggiacente a tutto questo, la considerazione che in futuro le persone avranno bisogno proprio di questa duplice capacità dei sistemi: *in primis*, che essi siano in grado di trattare i comportamenti dell'utente orientati all'obiettivo, tipici del linguaggio naturale, la cui potenza espressiva offre il mezzo naturale. In secondo luogo, che essi sappiano integrare anche il comportamento dell'utente orientato all'esplorazione, realizzato con manipolazione diretta e ipermedia. La motivazione più ambiziosa del progetto è di amplificare in questo modo il potenziale di comunicazione naturale. Il sistema sperimentale, chiamato AlFresco, è stato sviluppato in relazione all'arte italiana del Trecento (vedi Stock 1991).

La comunità di riconoscimento del parlato seguiva indirizzi diversi rispetto a quelli della comunità di elaborazione del linguaggio naturale che era, appunto, legata all'IA oltre che al mondo della linguistica computazionale. L'interazione tra le due comunità non era grande, esclusa qualche eccezione. Inoltre, Renato De Mori, la figura scientifica italiana di maggiore spicco nel settore del riconoscimento del parlato, a metà anni Ottanta ha lasciato definitivamente Torino per il Canada, con un passaggio intermedio ad Avignone. Prima di questo, c'era stata collaborazione con Lorenza Saitta e Attilio Giordana del Dipartimento di informatica, con il loro contributo sul fronte apprendimento e IA e con Pietro Laface del Politecnico di Torino sul fronte fonetico (De Mori et al. 1982). De Mori è poi diventato il riferimento per la ricerca su ASR all'IRST (con coordinatore interno Gianni Lazzari).

Va ricordato anche il contributo di Piero Cosi, dal 1984 al Centro studi per le ricerche in fonetica del CNR a Padova, e il gruppo su riconoscimento e comprensione del parlato guidato da Andrea Paoloni alla Fondazione Ugo Bordoni di Roma.

La mappa della ricerca industriale negli anni Ottanta

La maggior parte dell'impegno di ricerca industriale in Italia in quegli anni è volta al riconoscimento del parlato. La ricerca, in particolare, si avvale della lunga tradizione e della qualità dello CSELT di Torino. Sono attivi vari ricercatori, tra cui Claudio Rullent, Roberto Pieraccini e Roberto Gemello e, per quanto riguarda l'analisi del dialogo, Morena Danieli. L'Olivetti ha, all'epoca, un altro gruppo di ottima qualità, guidato da Roberto Billi, fino al 1992. Anche all'Elsag di Genova vi è buona attività sul riconoscimento del parlato, condotta, in particolare, da Carlo Scagliola.

Diversa, e nel cuore delle applicazioni di NLP, è la TECSIEL di Roma, con il forte impegno di Bruno Graziadio, che lavora sia a temi di interrogazione di basi di dati che di generazione di testi. Anche la Selenia è attiva su temi di comprensione di frase.

È necessario menzionare anche l'attenzione per temi di NLP dimostrata dalla Quinary di Milano, una delle prime *start up* italiane impegnate su temi di IA, poi molto attiva nei progetti europei su NLP.

L'aspetto organizzativo

Il Gruppo di Lavoro sull'intelligenza artificiale dell'AICA è, per la maggior parte degli anni Ottanta, il riferimento organizzativo principale in Italia. Nel 1986, a Sandro Incerti subentra, quale coordinatore, Franco Manucci dello CSELT. Nel 1988 i tempi sono maturi per la costituzione di una nuova associazione completamente

dedicata all'IA e riconosciuta dallo European Coordinating Committee for Artificial Intelligence (ECCAI, ora chiamato EURAI). Luigia Carlucci Aiello viene nominata all'unanimità presidente della nuova Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale (AIxIA). Alla costituzione dell'AIxIA partecipano i rappresentanti dei principali gruppi di ricerca in NLP e, presto, verrà costituito in seno all'AIxIA un gruppo di lavoro sull'elaborazione del linguaggio naturale.

Alla prima conferenza, di lancio dell'AIxIA, svoltasi a Trento a fine 1989, cui parteciparono circa duecentocinquanta iscritti alla parte scientifica, integrata da una notevole mostra industriale, vi fu una sessione di Elaborazione del Linguaggio Naturale con cinque presentazioni (una dell'Università di Torino, una della Selenia, due dell'IRST e una dell'Istituto di Linguistica Computazionale del CNR assieme all'Università di Pisa).

Affermazione

Gli anni Novanta e il ruolo italiano nel panorama internazionale

Negli anni Novanta assistiamo a un ulteriore forte consolidamento della comunità italiana. Prima di tutto, i gruppi perfezionano le proprie competenze e sono sempre più presenti sulla scena internazionale. Vi sono giovani di grandi capacità che vengono a far parte dei gruppi grazie ai corsi universitari specifici per il settore attivati in vari atenei a livello di laurea specialistica e di dottorato e grazie a un crescente numero di tesi di laurea e dottorato nel settore. Tra i giovani emergenti, che si aggiungono ai ricercatori già citati, possiamo menzionare Roberto Basili a Roma Tor Vergata, Emanuele Pianta, Elena Not, Massimo Zancanaro e Fabio Ciravegna all'IRST di Trento, Anna Goy, Guido Boella, Liliana Ardisson e Rossana Damiano all'Università di Torino. L'interesse per il campo si diffonde anche geograficamente, sia con la colonizzazione accademica (ad esempio, Giacomo Ferrari diventa professore a Vercelli, Giorgio Satta a Padova, Paola Velardi a Roma La Sapienza), sia con nuovi interessi accademici (ad esempio, Fiorella de Rosis all'Università di Bari si occupa di generazione di linguaggio e interazione con agenti conversazionali). La ricerca si sviluppa su tutto lo spettro delle attività già avviate e ne emergono molte ulteriori, soprattutto integrando i nuovi settori delle interfacce intelligenti e della multimodalità. I lavori maggiormente riconosciuti internazionalmente⁶ sono dell'Università di Torino, di Roma Tor Vergata, dell'IRST di Trento e, con Giorgio Satta, dell'Università di Padova.

6. Nota metodologica. Seguiamo sempre i criteri definiti precedentemente: consideriamo inizialmente i *proceedings* dell'IJCAI e quelli del meeting dell'ACL internazionale, quali sedi di forte selezione e di massima qualità. In base a questo criterio di selettività escludiamo però i *proceedings ACL* del 1998. In quell'anno, come già eccezionalmente accaduto nel 1984, il meeting è unificato con *Coling*, conferenza molto meno selettiva, e i lavori accettati sono 252, mentre nelle edizioni precedenti e successive di *ACL* si arriva al massimo a una settantina di lavori accettati. Inoltre, consideriamo un'ulteriore conferenza significativa, che comincia nel 1996, ed è destinata a diventare importante e di qualità: *EMNLP*. Quanto alle riviste, continuiamo a limitarci alle due più prestigiose: *Artificial Intelligence* e *Computational Linguistics*.

All'Università di Torino, Paolo Terenziani sviluppa ricerca su integrazione di informazione linguistica e informazione temporale (Terenziani 1993). Vincenzo Lombardo prosegue le ricerche su *parsing* a dipendenze, già avviate con Leonardo Lesmo (Lombardo 1992). Si sviluppa allora la ricerca sul dialogo e su aspetti pragmatici e di cooperazione (Ardissono, Lombardo, e Sestero 1993), che continuerà nel tempo.

Negli anni Novanta si afferma internazionalmente anche una prospettiva diversa sul Natural Language Processing. A differenza di quella modellistica, sostanzialmente basata su rappresentazione delle conoscenze linguistiche, questa evidenzia il ruolo dei dati. Di conseguenza, metodi a base statistico-probabilistica diventano sempre più popolari. Nel 1996 si tiene la prima *Conference on Empirical Methods in NLP (EMNLP)*, destinata a diventare un altro punto di riferimento per la comunità di NLP nel nuovo millennio.

A Roma Tor Vergata, Roberto Basili, Maria Teresa Pazienza, assieme a Paola Velardi – spostatasi temporaneamente all'Università di Ancona, e più avanti a Roma La Sapienza – sono tra i primi a pubblicare in quella sede. I lavori riguardano l'apprendimento non supervisionato di conoscenza sintattica (Basili et al. 1996) e un sistema ibrido simbolico/probabilistico di estrazione di terminologia per l'acquisizione lessicale (Basili et al. 1997). Il gruppo produce un lavoro su Computational Linguistics che concerne l'integrazione di classificazione generale dei verbi con quella specifica, basata su *corpus* (Basili, Pazienza, e Velardi 1996a). A questo segue, poi, anche uno *squib* (un breve intervento) di Paola Velardi riguardante il riconoscimento non supervisionato di *named entities* (Cucchiarelli e Velardi 2001). Basili, Pazienza e Velardi pubblicano anche un articolo sulla rivista *Artificial Intelligence*, che combina vantaggi di un approccio razionalista e di uno empirico all'acquisizione di conoscenza lessicale (Basili, Pazienza, e Velardi 1996b).

All'IRST di Trento, oltre ad AlFresco, il progetto multimodale integrato, le ricerche riguardano vari aspetti dell'NLP. Vi è lavoro teorico, al confine tra l'NLP e la linguistica formale (Franconi, Giorgi, e Pianesi 1993). Altro lavoro riguarda la gestione condivisa della coesione del dialogo in un ambiente multimodale (Zancanaro, Stock, e Strapparava 1993). Diversa origine ha un articolo nato nel contesto di un progetto europeo, riguardante la classificazione di testi attraverso pattern matching ed estrazione di informazione (Ciravegna et al. 1999), tra l'altro con la partecipazione alla stesura di Luca Gilardoni della Quinary. Un articolo di visione di fondo è relativo a un invited talk di Oliviero Stock a *IJCAI 99*, su prospettive per interfacce intelligenti e linguaggio (Stock 1999). Un lavoro sulla rivista *Artificial Intelligence* riguarda il *chart parsing* bidirezionale per l'elaborazione del linguaggio, con un'analisi delle sue proprietà (Satta e Stock 1994).

Giorgio Satta si sposta dall'IRST all'Università, prima a Venezia e poi, definitivamente, all'Università di Padova. Molto notevole è la sua produzione su temi di *parsing*, da *head-driven parsing* (Nederhof e Satta 1994), a *tabular LR parsing* (Nederhof e Satta 1996), ad aspetti sincronici nel *parsing* (Rambow e Satta 1996) a transformation-based parsing (Satta e Brill 1996). Satta pubblica su Computational Linguistics un articolo complesso su *parsing di tree-adjointing grammars* (Satta 1994) e un articolo breve su descrizioni fonologiche e *optimality theory* (Frank e Satta 1998).

L'aspetto organizzativo

In generale, in Italia un vero grande cambiamento nell'attività consiste nella partecipazione a progetti collaborativi, soprattutto progetti europei. Nel Terzo Programma Quadro, lanciato dalla Commissione Europea agli inizi degli anni Novanta, vi è uno specifico programma chiamato LRE, Language Research and Engineering. Nel Quarto Programma Quadro vi è il programma Language Engineering e nel Quinto il programma Human Language Technologies. A titolo di esempio, l'IRST nel decennio, partecipa come partner e talora coordinatore, a sette progetti di NLP.

Tra le attività organizzative, a Trento nel 1992 si tiene la *Third Applied NLP Conference dell'ACL*, per la prima volta fuori dagli Stati Uniti, con co-chair Lynn Bates di BBN, Boston e Oliviero Stock.

Nel contesto del crescente interesse per i metodi empirici e l'ancora accresciuta importanza dei dati, viene lanciata da Antonio Zampolli e Nicoletta Calzolari una nuova conferenza internazionale, che include anche il tema della valutazione, la *International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC*. Fin dalla prima conferenza, tenutasi a Granada nel 1998, con chair di programma Nicoletta Calzolari, vi è un notevole seguito.

Presidente dell'ACL nel 1995 è nominato Oliviero Stock, un riconoscimento per tutta la comunità italiana.

Per quanto concerne l'attività industriale, purtroppo si scioglie il gruppo sull'elaborazione del parlato che era stato costituito presso l'Olivetti. Roberto Billi passa allo CSELT nel 1992. Vi sono, invece, nuove iniziative oltre alle attività già citate prima. Tra queste va citata l'attività della Expert Systems, azienda che dedica una parte del suo impegno proprio al settore linguistico. Alcune aziende, nel frattempo, colgono l'opportunità offerta dai progetti europei per esplorare il settore. Sicuramente impegnata con coerenza e competenza è la Quinary, presente con dedizione in numerosi progetti.

Verso un nuovo paradigma anche in Italia

Il nuovo millennio

Il nuovo millennio è caratterizzato da un deciso spostamento dell'attenzione verso i metodi empirici, già avviato alla fine del periodo precedente. Le ragioni iniziali di questo indirizzo possono essere attribuite ad aspetti molto concreti. Approcci basati su dati tendono ad adattarsi a specifiche esigenze applicative, sono più robusti (tendono a non fallire brutalmente, ma danno sempre risultati, almeno parzialmente soddisfacenti), richiedono minori competenze linguistiche e multidisciplinari da parte dei ricercatori. Nel contesto delle sfide competitive su compiti specifici da completare in breve tempo – che si diffondono allora, echeggiando quelle tradizionali dell'ASR – prevalgono approcci di tipo empirico. Da questo ne segue anche un maggiore interesse industriale. Nel tempo, approcci di questo tipo, che poggiano su una lunga tradizione matematica di studi statistico-probabilistici, si consolidano maggiormente anche da un punto di vista strategico. Certamente, importante è il fatto che quantità di dati prima impensabili sono ora resi disponibili alla comunità, principalmente grazie al web (si può dire che la quasi totalità delle cose scritte dall'uomo vengono ora rese disponibili in forma digitale). Il lavoro è, per una

parte importante, quello di rendere coerenti e di qualità adeguata (allo scopo di poter essere opportunamente elaborati) i *corpora* e gli altri dati selezionati. Altro aspetto fondamentale è la grande crescita della potenza delle risorse di calcolo, in particolare per il calcolo parallelo, che consentono di rendere praticabili tecniche già introdotte precedentemente, ma sostanzialmente solo in via teorica (ad esempio, concetti importati in linguistica da algebra lineare e geometria). Vi è un fiorire di tecniche di apprendimento dai dati (è sempre bene puntualizzare che non hanno a che vedere con l'apprendimento umano!) sul quale ben presto si innestano tecniche che vengono dalla tradizione cibernetica, rivisitata nella concezione delle reti neurali. Queste tecniche portano all'emergere di caratterizzazioni linguistiche comuni ai dati e, nel cosiddetto deep learning, la dimensione della profondità aggiunge livelli di astrazione. Il punto debole di queste tecniche è che sono opache, non è ovvio per l'osservatore – e spesso neanche per il ricercatore stesso – capire bene come si arriva al risultato, ed è difficile definire gli aspetti modulari del linguaggio, che sono stati alla base degli studi cognitivi.

All'inizio della terza decade del millennio avviene il passaggio che marca un deciso passo in avanti: l'affermarsi dei Large Language Models, sostanzialmente nelle mani di grandi *corporation*, passaggio che ha reso molto popolare l'aspetto applicativo del campo e che richiede un nuovo adattamento della ricerca. Com'è naturale, si continuano ad affinare le tecniche in uno sviluppo vorticoso.

La scena italiana

In Italia, nel nuovo millennio, si allarga la scena dei ricercatori già affermati che sono attratti dall'NLP e contribuiscono al suo sviluppo. Tra questi citiamo Alessandro Lenci e Giuseppe Attardi all'Università di Pisa e Giovanni Semeraro all'Università di Bari. Sono poi molti i giovani che vengono a fare parte di questa comunità ormai alquanto estesa. Nel presente, sintetico contributo menziono solo, per la sua grande affermazione internazionale, Roberto Navigli, della Sapienza di Roma, che si è occupato di lessico, disambiguazione, acquisizione di conoscenza, creando una conosciutissima rete semantica multilingue, BabelNet (Navigli et al. 2021)⁷.

A livello complessivo, in Italia, vi è un'iniziativa essenziale: nel 2007 si svolge la prima edizione dell'iniziativa *Evaluation of NLP and Speech Tools for Italian* (Evalita, <https://www.evalita.it>), la campagna di valutazione per tecnologie del linguaggio rivolte alla lingua italiana, organizzata come workshop della conferenza AIXIA. Il format, simile a quello delle iniziative di quel periodo per la lingua inglese – tra le altre, *Senseval* e *Conference on Computational Natural Language Learning* (Conll) – è basato su alcuni task da risolvere cercando di ottimizzare le prestazioni. Successivamente Evalita si è svolta regolarmente ogni due anni, e a partire dalla edizione del 2009, comprende anche task di riconoscimento dal parlato, grazie alla collaborazione con AISV (Associazione Italiana Scienze della Voce), favorito da ricercatori come Piero Cosi e Franco Cutugno. Nel corso degli anni, Evalita ha consentito il progressivo miglioramento degli strumenti automatici per la lingua italiana, e ha prodotto

7. Ci sarebbero molti articoli da riportare in bibliografia, ma il nuovo millennio non è il punto focale del presente contributo.

dati annotati di alta qualità per più di 50 compiti, inclusi analisi sintattica a dipendenze, disambiguazione di senso, riconoscimento di entità, *sentiment analysis*, e recentemente, *fact checking*.

L'esperienza di Evalita, con decine di gruppi di ricerca italiani coinvolti, ha inoltre favorito le collaborazioni tra centri di ricerca e aziende interessate ai risultati delle competizioni. Tra queste menzioniamo CELI a Torino e Expert System (ora Expert.ai) inizialmente a Modena e poi con diverse sedi anche all'estero, attive in particolari applicazioni di text mining, e PerVoice a Trento, poi acquisita da Almwave, e CEDAT (Brindisi), per quanto riguarda lo sviluppo di tecnologie proprietarie per la trascrizione del parlato.

Anche nel settore della traduzione automatica, in particolare con le architetture basate su deep learning, la qualità delle traduzioni è andata progressivamente migliorando. In Italia, Translated (Roma), ha offerto servizi di traduzione professionale che hanno beneficiato delle sinergie tra traduttori esperti e strumenti automatici, con grande successo.

L'aspetto organizzativo

Nel settembre del 2015 viene fondata l'AILC (Associazione Italiana per la Linguistica Computazionale), il cui primo presidente è Bernardo Magnini. L'associazione, che insieme all'AIXIA diventa il punto di riferimento per la comunità italiana del settore, organizza un congresso annuale, *CLIC-IT*. Al congresso di fine novembre 2023 hanno partecipato 150 iscritti.

Un evento straordinario è *ACL 2019, the 57th Meeting of the ACL* che si tiene per la prima volta in Italia, a Firenze, con la partecipazione di più di 3000 ricercatori provenienti da tutto il mondo. Si tratta di una delle maggiori conferenze, in qualunque settore scientifico, tenute in Italia in quell'anno. Organizzatori della conferenza sono Alessandro Lenci, Bernardo Magnini e Simonetta Montemagni.

Infine, Giorgio Satta è stato chair dello European Chapter dell'ACL nel 2009-2010, Roberto Basili nel 2023-2024 e Roberto Navigli *general chair* di ACL 2025.

Conclusioni

Il Natural Language Processing in Italia si è sviluppato a partire dagli anni Settanta del secolo scorso. Abbiamo cercato di fornire una sintetica storia della ricerca in questo campo in Italia, con maggiore attenzione per le fasi pionieristiche. Anche per gli aspetti organizzativi, a partire dalle prime iniziative nell'AICA, la comunità ha saputo trovare la sua strada e non sono mancati i riconoscimenti. Recentemente il campo, dopo l'apparire dei Large Language Models, è diventato oggetto di molta attenzione popolare, con l'inevitabile carico di equivoci e discussioni di fondo. Per l'aspetto tecnico, centinaia di giovani in Italia stanno portando nuova energia alla ricerca in Natural Language Processing, seguendo indirizzi diversi da quelli che hanno fatto la storia iniziale del campo in Italia. Si può semmai forse notare che talvolta sarebbe opportuna una maggiore consapevolezza di quanto già studiato con metodologie diverse in tempi precedenti.

Si sviluppano anche nuovi settori applicativi e, anche se al momento alcune grandi *corporation* sono depositarie delle grandi risorse di calcolo e di molti dei dati che stanno alla base della tecnologia, c'è pur ampio spazio per nuovi contributi originali in Italia, sia di ricerca che applicativi.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio Bernardo Magnini per il suo apporto alla descrizione sintetica della scena italiana del Natural Language Processing nel nuovo millennio. E ringrazio Gigina, per esteso Luigia Carlucci Aiello, per la fiducia e i consigli per il presente contributo (e in tante altre occasioni).

BIBLIOGRAFIA

- AICA. 1980. *Rivista di Informatica, organo ufficiale dell'AICA*. 10 suppl. (3). Novembre. AICA. Milano.
- Bartlett, Frederic C. 1932. *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. London: Cambridge University Press.
- Courtin, Jacques. 1977. "Algorithmes pour le traitement interactif des langues naturelles." Thèse d'état, Grenoble I.
- Jurafsky, Dan, e James H. Martin. 2023. *Speech and Language Processing. An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*. Third Edition draft. web. stanford.edu.
- Montanero, Carlo, Giuliano Pacini, e Franco Turini. 1975. "MAGMA-LISP: A "Machine Language" For Artificial Intelligence." *Proceedings of IJCAI 75, the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 556-561. Tbilisi.
- Stock, Oliviero. 1976. "ATNSYS: Un sistema per l'analisi grammaticale automatica delle lingue naturali." Tesi del Corso di Specializzazione in Calcolo Automatico. Università di Pisa. Pubblicato come N.I. B76-29, Istituto per l'Elaborazione dell'Informazione, CNR Pisa.
- Weizenbaum, Joseph. 1976. *Computer Power and Human Reason*. San Francisco: Freeman and co.

ANNI SETTANTA

Le principali conferenze mondiali del campo, IJCAI e ACL

- De Mori, Renato, Silvano Rivoira, e Angelo Serra. 1975. "A Speech Understanding System with Learning Capability." *Proceedings of IJCAI 75, the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Tbilisi.
- Dell'Orco, Piero, Margaret King, e V. N. Spadavecchia. 1977. "Two Semantic Worlds: A Data Base System with Provision for Natural Language Input." *Proceedings of IJCAI 77, the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Boston.
- Ferrari, Giacomo, e Oliviero Stock. 1980. "Strategy Selection for an ATN Syntactic Parser." *Proceedings of the Eighteenth Annual Meeting of the ACL*. Philadelphia.
- Guida, Giovanni, e Marco Somalvico. 1979. "A Two-Level Modular System for Natural Language Understanding." *Proceedings of IJCAI 79, the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Tokyo.

- Torasso, Pietro, Leonardo Lesmo, e Daniela Magnani. 1981. "A Deterministic Analyzer for the Interpretation of Natural Language Commands." *Proceedings of IJCAI 81, the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 1:440-442. Vancouver.

ANNI OTTANTA

Le principali conferenze mondiali del campo, IJCAI e ACL

- Adorni, Giovanni, Mauro Di Manzo, e Fausto Giunchiglia. 1983. "Some Basic Mechanisms for Common Sense Reasoning About Stories Environments." *Proceedings of IJCAI 83, the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 72-74. Karlsruhe.
- Airenti, Gabriella, Bruno G. Bara, e Marco Colombetti. 1983. "Planning Perlocutionary Acts." *Proceedings of IJCAI 83, the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 78-80. Karlsruhe.
- Cappelli, Amedeo, Lorenzo Moretti, e Carlo Vinchesi. 1983. "KL-Conc: A Language for Interacting with Si-Nets." *Proceedings of IJCAI 83, the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 333-36. Karlsruhe.
- Comino, R., Roberto Gemello, Giovanni Guida, Claudio Rullent, L. Sisto, e Marco Somalvico. 1983. "Understanding Natural Language Through Parallel Processing of Syntactic and Semantic Knowledge: An Application to Data Base Query." *Proceedings of IJCAI 83, the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 663-67. Karlsruhe.
- De Mori, Renato, Attilio Giordana, Lorenza Saitta, e Pietro Laface. 1982. "An Expert System for Interpreting Speech Patterns." *Proceedings of AAAI-82, Second Conference of the American Association for Artificial Intelligence*. 107-10. Pittsburgh.
- Di Eugenio, Barbara, e Leonardo Lesmo. 1987. "Representation of Determiners in Natural Language." *Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 648-653. Milano.
- Fum, Danilo, Giovanni Guida, e Carlo Tasso. 1985. "Evaluating Importance: A Step Towards Text Summarization." *Proceedings of IJCAI 85, the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Los Angeles.
- Lesmo, Leonardo, e Pietro Torasso. 1985a. "Analysis of Conjunctions in a Rule-Based Parser." *Proceedings of the 23rd Annual Meeting of the ACL*. Chicago.
- Lesmo, Leonardo, e Pietro Torasso. 1985b. "Weighted Interaction of Syntax and Semantics in Natural Language Analysis." In *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Los Angeles.
- Satta, Giorgio, e Oliviero Stock. 1989. "Formal Properties and Implementation of Bidirectional Charts." *Proceedings of IJCAI 89, the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 1480-85. Detroit.
- Satta, Giorgio, e Oliviero Stock. 1991. "A Tabular Method for Island-Driven Context Free Languages Parsing." In *Proceedings of AAAI-91, Ninth Conference of the American Association for Artificial Intelligence*. 143-48. Anaheim.
- Stock, Oliviero. 1987. "Getting Idioms into a Lexicon Based Parser's Head." *Proceedings of the 25th Meeting of the Association for Computational Linguistics*. 52-58, Stanford.

- Stock, Oliviero. 1991. "Natural Language and Exploration of an Information Space: The AI-Fresco Interactive System." *Proceedings of IJCAI 91, the Twelfth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 972-78. Sydney.
- Velardi, Paola, e Maria Teresa Pazienza. 1989. "Computer Aided Interpretation of Lexical Co-occurrences." *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the ACL*. 185-92. Vancouver.

Le principali riviste del campo: Computational Linguistics e Artificial Intelligence

- Stock, Oliviero. 1989. "Parsing with Flexibility, Dynamic Strategies and Idioms in Mind." *Computational Linguistics* 15 (2): 1-18.
- Velardi, Paola, Michela Fasolo, e Maria Teresa Pazienza. 1991. "How to Encode Semantic Knowledge: A Method for Meaning Representation and Computer-Aided Acquisition." *Computational Linguistics*. 17 (2): 153-70.

ANNI NOVANTA

Le principali conferenze mondiali del campo, IJCAI e ACL

- Ardissono, Liliana, Alessandro Lombardo, e Dario Sestero. 1993. "A Flexible Approach to Cooperative Response Generation in Information-Seeking Dialogues." *Proceedings of the 31st Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Columbus.
- Ciravegna, Fabio, Alberto Lavelli, Nadia Mana, Johannes Matiassek, Luca Gilardoni, Silvia Mazza, Massimo Ferraro, William J. Black, Fabio Rinaldi, e David Mowat. 1999. "FACILE: Classifying Texts Integrating Pattern Matching and Information Extraction." *Proceedings of IJCAI 99, the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Stockholm.
- Franconi, Enrico, Alessandra Giorgi, e Fabio Pianesi. 1993. "Tense and Aspect: A Mereological Approach." *Proceedings of IJCAI 93, the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Chambéry.
- Lombardo, Vincenzo. 1992. "Incremental Dependency Parsing." *Proceedings of the 30th Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Newark.
- Nederhof, Mark-Jan, e Giorgio Satta. 1994. "An Extended Theory of Head-Driven Parsing." *Proceedings of the 32nd Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Las Cruces.
- Nederhof, Mark-Jan, e Giorgio Satta. 1996. "Efficient Tabular LR Parsing." *Proceedings of the 34th Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Santa Cruz.
- Rambow, Owen, e Giorgio Satta. 1996. "Synchronous Models of Language." *Proceedings of the 34th Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Santa Cruz.
- Satta, Giorgio, e Eric Brill. 1996. "Efficient Transformation-Based Parsing." *Proceedings of the 34th Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Santa Cruz.
- Stock, Oliviero. 1999. "Was the Title of This Talk Generated Automatically? Prospects on Intelligent Interfaces and Language." *Proceedings of IJCAI 99, the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Stockholm.
- Terenziani, Paolo. 1993. "Integrating Linguistic and Pragmatic Temporal Information in Natural Language Understanding: The Case of "When Sentences." *Proceedings of IJCAI*

- 93, the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Chambéry.
- Zancanaro, Massimo, Oliviero Stock, e Carlo Strapparava. 1993. "Dialogue Cohesion Sharing and Adjusting in an Enhanced Multimodal Environment." *Proceedings of IJCAI 93, the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Chambéry.

EMNLP

- Basili, Roberto, Gianluca De Rossi, e Maria Teresa Pazienza. 1997. "Inducing Terminology for Lexical Acquisition." *Proceedings of EMNLP 97, the Second Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. Providence.
- Basili, Roberto, Alessandro Marziali, Maria Teresa Pazienza, e Paola Velardi. 1996. "Unsupervised Learning of Syntactic Knowledge: Methods and Measures." *Proceedings of EMNLP 96, the First Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. Philadelphia.

Le principali riviste del campo: Computational Linguistics e Artificial Intelligence

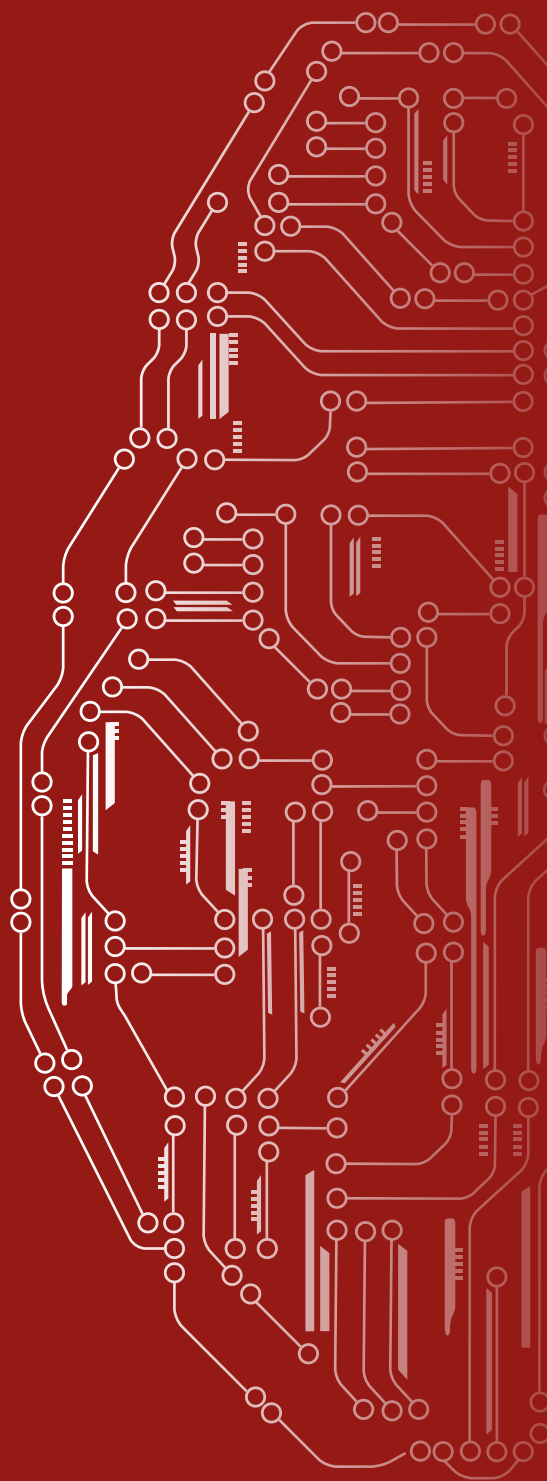
- Basili, Roberto, Maria Teresa Pazienza, e Paola Velardi. 1996a. "Integrating General-Purpose and Corpus-Based Verb Classification." *Computational Linguistics* 22 (4): 559-68.
- Basili, Roberto, Maria Teresa Pazienza, e Paola Velardi. 1996b. "An Empirical Symbolic Approach to Natural Language Processing." *Artificial Intelligence* 85: 59-99.
- Cucchiarelli, Alessandro, e Paola Velardi. 2001. "Unsupervised Named Entity Recognition Using Syntactic and Semantic Contextual Evidence." *Computational Linguistics* 27 (1): 123-31.
- Frank, Robert, e Giorgio Satta. 1998. "Optimality Theory and the Generative Complexity of Constraint Violability." *Computational Linguistics* 24 (2): 307-15.
- Satta, Giorgio. 1994. "Tree-Adjoining Grammar Parsing and Boolean Matrix Multiplication." *Computational Linguistics*. 20 (2): 173-91.
- Satta, Giorgio e Oliviero Stock. 1994. "Bidirectional Context-Free Grammar Parsing for Natural Language Processing." *Artificial Intelligence*. 69: 123-64.

NUOVO MILLENNIO

- Navigli, Roberto, Michel Bevilacqua, Simone Conia, Dario Montagnini, e Francesco Ceconi. 2021. "Ten Years of BabelNet: A Survey." *Proceedings of IJCAI 21, the Thirtieth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Survey Track. Montreal.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-30>



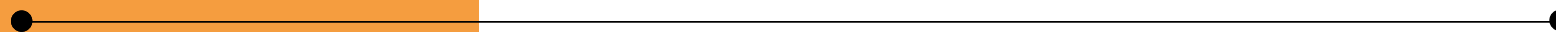


**Linee
di ricerca**

31

Floriana Esposito
Lorenza Saitta

**Apprendimento
automatico**



Introduzione

Operare sull'ambiente cercando di comprendere le motivazioni dietro le azioni, analizzare le ragioni dei successi e degli insuccessi, scoprire leggi e relazioni nascoste in informazioni apparentemente scollegate, acquisire nuove conoscenze e migliorare il proprio comportamento nel tempo sono tutte caratteristiche della "intelligenza". Parte fondamentale e inalienabile dell'intelligenza è la capacità di imparare. L'apprendimento riguarda funzioni vitali a diversi livelli di coscienza, a partire dal riconoscimento degli stimoli sensoriali fino all'acquisizione di nozioni complesse per sofisticati ragionamenti astratti.

Con l'evoluzione tecnologica si sono potuti costruire sistemi dedicati all'esecuzione di compiti che si collocano al di fuori della portata di un approccio manuale a causa della loro complessità. Tuttavia, i sistemi artificiali possono richiedere un grande sforzo di progetto e, inoltre, sono rigidi, in quanto non possono essere estesi a casi diversi, neanche per similitudine con quelli già risolti. Infine, a differenza degli esseri umani, essi non migliorano le loro prestazioni con l'esperienza.

L'Apprendimento Automatico (AA) – o Machine Learning (ML)¹ – è una disciplina che ha come obiettivo principale dotare agenti artificiali della capacità di imparare. L'AA non è nato dal nulla, ma affonda le sue radici nella statistica, nel riconoscimento di forme, nella teoria del controllo e nella cibernetica, e, inoltre, nella filosofia e nelle scienze cognitive.

Come per molti concetti fondamentali, anche per il concetto di "apprendimento" è difficile trovare una definizione precisa e puntuale che ne chiarisca i limiti e lo distingua da processi analoghi. In filosofia, l'apprendimento è considerato una modificazione persistente della conoscenza e del comportamento di un soggetto, determinata dalla sua interazione con il mondo.

Esistono molteplici teorie dell'apprendimento, raggruppate in tre grandi classi: teorie comportamentiste, cognitiviste e formaliste. Le teorie comportamentiste si fondano sulla relazione "stimolo-risposta", come nel condizionamento classico di Ivan Pavlov (1927). Le teorie cognitiviste si basano sull'"epistemologia genetica" (Piaget 2000), o sulla "psicologia della forma" (*Gestalt*) (Mach 1886). Nel primo caso, imparare vuol dire astrarre da stimoli esterni elementi conoscitivi e/o operativi che entrano in strutture cognitive preesistenti. Nel secondo caso, l'atto di apprendere coinvolge l'acquisizione di unità già organizzate che vengono ristrutturare mediante il fenomeno di *Insight* (intuizione ordinatrice). Infine, le teorie formaliste cercano di spiegare l'apprendimento nei termini di un modello teorico e delle sue connessioni formali. Una classica teoria formale è la "ipotetico-deduttiva" di Clark Hull (1943) in cui un insieme di postulati e teoremi definisce i rapporti tra le variabili indipendenti (gli aspetti della situazione di apprendimento), le variabili intermedie (lo stato interno del soggetto) e le variabili dipendenti (il comportamento osservabile del soggetto).

1. In questo capitolo useremo in modo intercambiabile i termini Apprendimento Automatico (AA) e Machine Learning (ML).

Per quanto riguarda l'apprendimento, esso è unanimemente considerato un aspetto inalienabile dell'intelligenza e, quindi, l'AA è una componente fondamentale dell'intelligenza artificiale. Di fatto, da semplice componente esso si è evoluto fino ad acquisire una vita propria e divenire una complessa disciplina a sé stante.

Nell'ambito dell'artificiale, possiamo aggirare il ginepraio filosofico e accettare una definizione pragmatica. Tra le tante che sono state proposte, una storica, anche se largamente incompleta, è la definizione di Pat Langley (1986) introdotta nella prefazione al primo numero della rivista *Machine Learning*: l'apprendimento automatico "*is concerned with the processes by which intelligent systems improve their performance over time*"². Una definizione un po' più articolata è data da Tom Mitchell (1997):

*A computer program is said to learn from experience E with respect to some class of tasks T and performance measure P, if its performance at tasks in T, as measured by P, improves with experience E*³.

Ci si potrebbe aspettare che i sistemi artificiali di apprendimento si siano lasciati ispirare, dal punto di vista funzionale, dai modelli di apprendimento sopra citati. In realtà così non è stato; infatti, la conoscenza dei processi di apprendimento umani di alto livello (corteccia cerebrale), pur essendo ancora preliminare da un punto di vista interpretativo e semantico, suggerisce che essi siano di grande complessità.

Al contrario, il modo di intendere la natura dell'apprendimento automatico è cambiato nel corso del tempo, di pari passo con nuove metodologie e nuovi approcci. All'inizio ha predominato una visione algoritmica: apprendere non era altro che "far girare" un algoritmo su dei dati al fine di ottenere un risultato. I primi tentativi, però, si sono scontrati ben presto con la limitatezza di questa visione e l'AA è uscito dall'algoritmica per entrare nell'area dei metodi di ricerca (*search*) (Mitchell 1982), dove si è trasformato in uno strumento per l'esplorazione di uno spazio di ipotesi assegnato a priori, dal quale estrarne le migliori in termini di capacità di spiegazione dei dati. Con l'aumentare della quantità di dati da trattare e della complessità dei compiti da affrontare, anche questa visione si è rivelata limitativa e l'apprendimento automatico è gradualmente evoluto verso gli attuali sistemi complessi, che integrano componenti strutturali e funzionali diverse.

Se i modelli dell'apprendimento naturale non hanno avuto un impatto rilevante sullo sviluppo del "gemello" artificiale, la struttura fisica del cervello ha invece ispirato fin dai primi tempi tentativi di imitazione, realizzati nelle cosiddette "reti neurali", la cui evoluzione ha avuto alterne vicende. Da strutture semplicissime e di modeste prestazioni, sono evolute verso strutture dalle prestazioni stupefacenti, quasi confrontabili con le aree del cervello umano.

2. Si occupa dei processi con cui i sistemi intelligenti migliorano le loro prestazioni col tempo.

3. Si dice che un programma computazionale apprende dall'esperienza E, rispetto a una classe di compiti T e a una misura di prestazioni P, se le sue prestazioni sui compiti in T, misurate da P, aumentano con l'esperienza E.

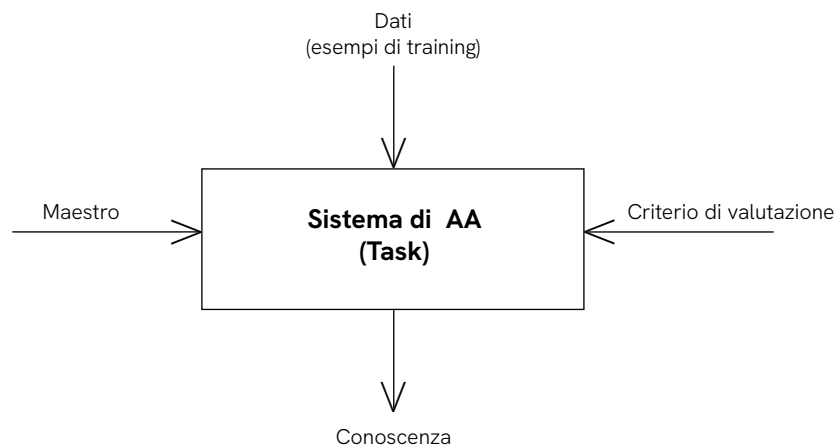


Fig. 1 Schema di un sistema generico di apprendimento. Scelto il problema (task) da risolvere e il metodo di apprendimento, dobbiamo fornire i dati di training, il criterio di valutazione del risultato e possibili informazioni aggiuntive, rappresentate da un "maestro". L'uscita è la conoscenza appresa.

Tutti i sistemi di apprendimento, prescindendo dalla loro natura e complessità, hanno delle componenti di base. Innanzi tutto, occorre specificare un *task*, un compito che il sistema di apprendimento deve affrontare. La componente essenziale è costituita dai dati, che sono la sorgente primaria d'informazione, contenente, *in nuce*, la conoscenza che si vuole estrarre. La seconda componente essenziale consiste in un criterio di valutazione, che permette di capire quando e in che misura il sistema ha imparato. La terza componente, il "maestro" è opzionale; se c'è, comprende tutte le indicazioni aggiuntive che possono essere fornite al sistema per facilitarne il compito (Fig. 1). Se il maestro è presente, si parla di apprendimento supervisionato (o semi-supervisionato) a seconda della natura del maestro), altrimenti di apprendimento non-supervisionato. Un esempio tipico di apprendimento supervisionato è la "classificazione", compito in cui si impara ad assegnare un oggetto a una classe appartenente a un insieme di classi predefinite, partendo da un insieme di esempi di *training*, a cui il maestro ha assegnato la classe corretta. Se invece si vuole capire se un insieme inizialmente indistinto di oggetti può essere partizionato in classi omogenee, senza informazioni esterne, si ha un problema di *clustering* che è il tipico problema di apprendimento non-supervisionato.

Un aspetto fondamentale dell'apprendimento è il modo in cui viene rappresentata la conoscenza appresa, la definizione di un "linguaggio di rappresentazione". Nell'evoluzione dell'AA sono stati proposti molti linguaggi diversi, ma c'è una caratteristica basilare che li distingue, la capacità di descrivere oggetti strutturati. Un oggetto non strutturato può essere descritto da un insieme di attributi (*feature*), quali larghezza, altezza, colore, e così via. Per una descrizione siffatta basta un linguaggio

basato sulla logica proposizionale. Un oggetto strutturato, invece, oltre a essere costituito da varie parti (ognuna descrivibile con i suoi attributi), richiede anche che si specificino le relazioni tra le parti, necessitando, quindi, di un linguaggio derivato dalla logica del primo ordine. La differenza primaria tra le due situazioni è la complessità computazionale (ma anche concettuale) richiesta per apprendere.

Un metodo storico alternativo di classificare i sistemi di AA consiste nella suddivisione tra simbolici e sub-simbolici. I sistemi sub-simbolici (tipicamente, le reti neurali) sfruttano l'emulazione della struttura cerebrale, mentre quelli simbolici si concentrano sulla rappresentazione formale della conoscenza, la logica, e i metodi d'inferenza. Tra i sistemi sub-simbolici si sono fatti rientrare, anche se un po' impropriamente, quelli che sfruttano gli algoritmi genetici come metodo di ricerca. Un aspetto fondamentale che distingue i due tipi di sistemi è la "comprensibilità" della conoscenza appresa, di solito non immediatamente interpretabile da un utilizzatore umano se generata da sistemi subsimbolici e pienamente interpretabile se generata dai sistemi simbolici, rispettando, quindi, il Principio di Comprensibilità Umana (*principle of human comprehensibility*) proposto da Tom Mitchell, Ryszard Michalski e Jaime Carbonell per i sistemi di apprendimento automatico (Michalski 1983).

Ancora oggi, la base ultima sottostante i sistemi di AA è il Principio di Induzione (Hume 1739). Dato un insieme di oggetti, il principio permette di estendere a tutti gli oggetti dell'insieme, le proprietà osservate solo su alcuni di essi. È chiaro come la conoscenza appresa deve sempre essere considerata un'ipotesi induttiva e non può mai essere provata vera. Al riguardo, Luc Devroye ci mette in guardia dimostrando che per qualunque problema di classificazione esiste sempre una distribuzione (finita) degli esempi di training che genera un'ipotesi induttiva con errore grande a piacere (Devroye 1982). Cercare ipotesi che spieghino un insieme di dati può diventare difficile come cercare un ago in un pagliaio, dal momento che tali ipotesi possono anche essere in numero infinito. Il principio del Rasoio di Occam che asserisce: *Entia non sunt multiplicanda sine necessitate*⁴ (William of Ockam 1495); in altre parole *qui ceteris paribus* tra le ipotesi alternative conviene scegliere la più semplice, *ceteris paribus*, è uno strumento di supporto fondamentale per la ricerca delle ipotesi.

Accanto all'induzione sono stati proposti, nella storia dell'apprendimento, anche metodi di ragionamento abduittivi e analogici che non hanno portato, almeno per il momento, a risultati significativi.

Data la grandissima varietà di approcci, metodologie e sistemi di AA, viene spontaneo chiedersi se ci sia una metodologia superiore a tutte le altre. La risposta a questa domanda viene dal *No Free-lunch Theorem*⁵ per l'apprendimento (Wolpert 2002), che asserisce che non esiste alcun algoritmo di AA che sia il migliore su tutti i problemi di apprendimento. In altre parole, se l'algoritmo A è migliore di B su un problema T_1 , ci sarà certamente un problema T_2 su cui B è migliore di A.

4. "Non si devono moltiplicare gli enti senza necessità".

5. "Teorema dell'assenza di soluzioni gratuite".

Concludiamo il paragrafo fornendo qualche dato numerico che dimostra lo sviluppo esplosivo che il settore dell'AA ha avuto dalla sua nascita. Alla *Conferenza Internazionale di Machine Learning*, tenutasi ad Ann Arbor, MI, nel 1988 erano stati accettati 49 lavori su 150 sottomessi e alla conferenza erano presenti 320 partecipanti. Alla stessa conferenza, tenutasi a Honolulu, HI, nel 2023, sono stati accettati 1865 lavori su 6684 sottomessi e i partecipanti erano circa 7000.

Il quadro internazionale

Il termine Machine Learning apparve per la prima volta nel 1959 in un articolo di Arthur Samuel (1959) autore di un sistema per apprendere il gioco della dama. Il sistema – realizzato nel 1955 e presentato nel 1956 in televisione – attirò una certa attenzione pubblica perché integrava diverse metodologie, quali ricerca in uno spazio di mosse, apprendimento per rinforzo e semplice memorizzazione e ha dimostrato buone prestazioni, ma non ha mai raggiunto il livello di esperto.

Di solito, si fa coincidere la nascita dell'AA con il lavoro di Samuel, ma altri approcci erano stati sperimentati negli stessi anni, in particolare nell'ambito delle reti neurali. A partire dai primi anni Sessanta le ricerche ispirate da Samuel ebbero poche interazioni con lo sviluppo delle reti neurali.

Il concetto di rete neurale si può far risalire agli anni Quaranta, quando, Warren McCulloch e Walter Pitts, fecero i primi tentativi di creare modelli di classificazione e apprendimento, prendendo ispirazione dal cervello umano (McCulloch e Pitts 1943). Gli approcci erano ispirati alla teoria dello psicologo Donald Hebb, per il quale l'apprendimento consisteva nel rafforzamento delle connessioni tra neuroni o gruppi di neuroni (Hebb 1949).

Nel seguito illustreremo separatamente gli iter temporali seguiti dall'apprendimento neurale e simbolico.

Sviluppo delle reti neurali

Una Rete Neurale Artificiale (*Artificial Neural Net* o ANN) è formata da un insieme di elementi computazionali (nodi), chiamati neuroni, interconnessi tra loro. Nella maggior parte dei casi una rete neurale artificiale è un sistema adattativo che cambia la propria struttura in base alle informazioni, esterne o interne, che passano attraverso la rete stessa durante la fase di apprendimento.

Generalmente i nodi di una ANN sono disposti a livelli, che comprendono un livello di ingresso, uno o più livelli interni o “nascosti” e un livello di uscita. Le connessioni tra i neuroni hanno un peso e una soglia associati ad esse. Se l'uscita di un qualsiasi nodo singolo è al di sopra del valore di soglia specificato, tale nodo viene attivato, inviando i dati al successivo livello della rete.

Nel 1957 Frank Rosenblatt introdusse il primo schema di rete neurale, detto perceptrone (*perceptron*), finalizzato al riconoscimento e alla classificazione di forme

(Fig. 2). Il modello di apprendimento era di tipo probabilistico. Rosenblatt ha definito il Perceptrone come “*the first machine which is capable of having an original idea*”⁶. La macchina, che pesava 5 tonnellate e occupava una stanza intera, aveva suscitato enormi aspettative. Il New York Times affermava, in un articolo dell'8 luglio 1958: “*The Navy revealed the embryo of an electronic computer today that it expects will be able to walk, talk, see, write, reproduce itself and be conscious of its existence*”⁷.

L'interesse verso le reti neurali venne bruscamente interrotto da Marvin Minsky e Seymour Papert, i quali nel 1969 dimostrarono, in un famoso libro (Minsky e Papert 1969), che il Perceptrone non era altro che un classificatore lineare e che quindi aveva un potere molto limitato e certo insufficiente per realizzare le sue grandi promesse.

A partire dal 1969 la ricerca sulle reti neurali, anche se non del tutto abbandonata ha certamente subito un significativo rallentamento. Un segno di risveglio emerse dal progetto giapponese Fifth Generation Computing, che nel 1982 ha ripreso in considerazione l'opportunità di finanziare attività di ricerca su di esse. La rinascita vera e propria è datata 1987, con la pubblicazione del libro *Parallel Distributed Processing* firmato da David Rumelhart e James McClelland (1987), che vi hanno incluso il “Perceptrone a molti strati” (Multi-layer Perceptron) e il nuovo algoritmo di addestramento della *backpropagation*, di fatto inventato da Paul Werbos, che lo aveva presentato nella sua tesi di dottorato nel 1974. La tesi è stata inclusa in un libro pubblicato successivamente (Werbos 1994). Rumelhart e McClelland hanno sistematizzato l'algoritmo e l'hanno portato alla notorietà.

Da allora le reti neurali hanno avuto notevole sviluppo e sono state usate in svariate applicazioni; permaneva il fatto che l'addestramento risultava troppo lento e richiedeva una eccessiva quantità di dati. Nel 2011 avvenne un'improvvisa rivoluzione: la rete neurale DanNet, sviluppata dal gruppo di ricerca di Jürgen Schmidhuber, vinse la competizione sul “Riconoscimento dei segnali stradali” dell'*International Joint Conference on Neural Networks* con un miglioramento del 68% rispetto allo stato dell'arte, raggiungendo prestazioni super-umane. L'evento ha portato all'attenzione dei ricercatori un tipo particolare di reti, dette “reti profonde”, che hanno originato il tipo di apprendimento detto deep learning (apprendimento profondo), termine coniato nel 2006 da Geoffrey Hinton (Hinton, Osindero, e Teh 2006).

Il deep learning si concentra sull'utilizzo di reti neurali complesse per scoprire le relazioni tra ingressi diversi, mettendo in evidenza strutture nascoste nei dati. Nelle reti neurali il segnale d'ingresso viene elaborato da strati di neuroni che producono uscite via via più astratte. Il deep learning apprende livelli di rappresentazione multipli, che corrispondono a una scala di livelli di astrazione crescente; le descrizioni dello strato sono definite dallo strato precedente.

I metodi di deep learning possono essere applicati con successo alla visione artificiale, al riconoscimento vocale, a processi decisionali complessi e a sistemi di controllo in grado di reagire immediatamente e autonomamente a situazioni solo parzialmente prevedibili.

6. La prima macchina capace di avere idee originali.

7. La Marina ha rivelato oggi l'esistenza di un embrione di calcolatore elettronico che ci si aspetta possa camminare, parlare, vedere, scrivere, riprodursi ed essere conscio della sua esistenza.

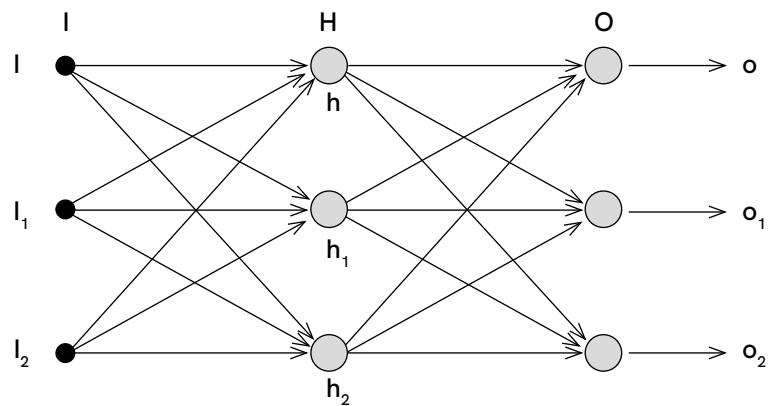


Fig. 2 Schema di una Rete Neurale Artificiale. I neuroni dello strato di ingresso (I) sono connessi a quelli di uno strato intermedio, detto strato "nascosto" (H), che, a loro volta, sono connessi ai neuroni dello strato di uscita (O). I neuroni nascosti possono essere organizzati su più strati e, in questo caso, si parla di reti "profonde".



Fig. 3 Fotografia costruita artificialmente da una rete GAN a partire da un insieme di foto simili.

L'idea di costruire reti profonde non era una novità. I primi studi sulle reti neurali a molti strati risalgono a Kunihiko Fukushima che propose il modello del "Cognitrone" nel 1975 (Fukushima 1975) e del "Neo-cognitrone" nel 1980 (Fukushima 1980) per il riconoscimento di caratteri manoscritti. I neuroni del Cognitrone si distinguono in "inibitori" ed "eccitatori" e i collegamenti sinaptici tra essi hanno la caratteristica di auto-organizzarsi allo scopo di reagire in maniera selettiva al presentarsi di una certa configurazione in ingresso.

Il grande successo raggiunto oggi dal deep learning è dovuto sostanzialmente a tre fattori; il primo è di natura tecnologica, e cioè l'uso di Graphic Processing Unit (GPU)⁸, che ha ridotto di diversi ordini di grandezza (da mesi/settimane a giorni/ore) i tempi di addestramento. Il secondo fattore è l'avvento del *Big Data* e cioè la disponibilità di enormi quantità di dati per l'addestramento. Il terzo fattore è di carattere metodologico e risiede nella procedura di *pre-training*, che ha risolto il problema del *vanishing/exploding gradient* (Bengio, Simard, e Frasconi 1994). Infatti, usando la backpropagation con i pesi inizializzati in modo casuale su una rete a molti strati, il valore del gradiente dell'errore tende a zero o diverge. Al contrario, la procedura di *pre-training* fornisce dei pesi iniziali che evitano il fenomeno.

Le reti profonde sviluppate appartengono principalmente a tre categorie: le reti "convolutive" (CNN), quelle "ricorrenti" (RNN) e quelle "generative" (GAN). Le reti convolutive, usate inizialmente nella visione, traggono l'idea fondamentale da una osservazione di David Hubel e Torsten Wiesel, che hanno scoperto come le cellule semplici nella corteccia visiva primaria rispondono prevalentemente a segmenti orientati (Hubel e Wiesel 1968), operando quindi una convoluzione. La scoperta comportò, nel 1981, l'assegnazione del Premio Nobel per la Medicina.

La preistoria delle reti convolutive può essere fatta risalire a Fukushima, che nel Cognitrone ha introdotto il concetto di "area di connessione" di un neurone. È, però, giusto ricordare che le prime vere reti convolutive sono state introdotte da Toshiteru Homma nella classificazione dei fonemi (Homma, Atlas, e Marks 1987, 1988). Una caratteristica delle reti profonde è la capacità di estrarre dalle immagini in ingresso, caratteristiche (*feature*) che prima erano estratte manualmente; man mano che si procede dall'ingresso verso l'uscita, tali caratteristiche diventano sempre più astratte, in analogia a quello che accade nel sistema visivo umano, dall'occhio alla corteccia cerebrale. L'eliminazione della fase di estrazione delle *feature* rende il processo di apprendimento completamente automatico. Nel 1989 Yann LeCun presentò la prima rete convolutiva inserita in un processo di apprendimento *end-to-end*, un processo, cioè, che forniva direttamente in ingresso alla rete le immagini da trattare, senza la necessità di estrarre le *feature* (LeCun et al. 1989). Ricordiamo che nel 2019 LeCun ha ricevuto, insieme a Yoshua Bengio e Geoffrey Hinton, il premio Turing per le scoperte concettuali e ingegneristiche che hanno reso le reti neurali profonde un componente fondamentale dell'Informatica.

8. Le GPU sono processori paralleli molto veloci particolarmente adatti all'elaborazione di segnali (tipicamente visivi). Sono nate come supporto al video, ma possono essere usate come calcolatori matriciali.

Le reti profonde ricorrenti hanno le loro antenate in un lavoro di Shun'ichi Amari (1972) che rese adattativo il “Modello di Ising” di Wilhelm Lenz (1920) ed Ernst Ising (1925), proposto negli anni Venti dello scorso secolo; il modello era di fatto una rete ricorrente, ma che non imparava. Nel 1982 furono poi proposte le “Reti di Hopfield” in cui tutte le connessioni tra strati hanno ugual peso; addestrate con la regola di Hebb fornivano una robusta memoria indirizzabile per contenuto (Hopfield 1982).

Importanti reti ricorrenti sono le reti Long Short-Term Memory (LSTM), proposte da Sepp Hochreiter e Jürgen Schmidhuber (1997). Le LSTM, che evitano il problema del *vanishing gradient*, si sono in seguito dimostrate molto efficaci, rispetto ad altre applicazioni, nel riconoscimento del parlato (per esempio, Ming et al. 2018) e nel riconoscimento di caratteri manoscritti (per esempio, Prabakaran et al. 2023).

La terza classe di reti, dette Generative Adversarial Network (GAN), sono state introdotte da Ian Goodfellow nel 2014 (Goodfellow et al. 2020). Goodfellow ha un predecessore in Schmidhuber, che ha presentato, nel 1990, una GAN come parte della “curiosità artificiale.” In una GAN due reti neurali si affrontano in un “gioco a somma nulla.” Dato un insieme di training, la GAN impara a generare nuovi dati con la stessa distribuzione statistica dei dati di training. Per esempio, dato un insieme di fotografie, la rete impara a generarne di simili, con molte caratteristiche realistiche (Fig. 3).

Nel 2017 venne distribuito un software libero, che utilizza una GAN per inserire la testa di una persona sul corpo di un'altra in qualunque video. Il processo è detto *DeepFake*, un termine coniato da un utente di Reddit, che ha creato grande scompiglio (per esempio, Kulp 2019).

Anche se le reti profonde sono nate nel settore della percezione, tipicamente della visione e del parlato, esse sono state estese a molti altri domini e, in particolare, alla generazione di testi in linguaggio naturale. Per quanto notevoli siano stati i risultati ottenuti dalle reti convolutive e ricorrenti nel settore della percezione, un sostanziale passo avanti è stato fatto da Google che, nel 2017, ha presentato una nuova architettura per la rete neurale, detta “Transformer”, basata sul *focus of attention* (Vaswani et al. 2017) e formata da una coppia *encoder-decoder*. Il transformer elimina la necessità sia della convoluzione sia della ricorrenza, pur ottenendo risultati decisamente superiori a entrambe. Oltre che alla generazione di testi, l'architettura transformer può essere adattata al trattamento delle immagini. Nel 2020 un transformer auto-regressivo, con 175 miliardi di parametri, è stato inserito nel sistema GPT-3 (Dale 2021).

È da notare infine che il deep learning è stato usato soprattutto in modo supervisionato, mentre il modo non supervisionato è ancora agli inizi. A questo riguardo Google ha fatto un esperimento, costruendo una rete di 16 000 calcolatori e un miliardo di connessioni. La rete ha ricevuto in ingresso 10 milioni di video di YouTube selezionati a caso. Senza una etichettatura preliminare, la rete ha ottenuto un tasso di riconoscimento dell'81,7% per i visi umani, del 76,7% per parti del corpo umano e del 74,8% per i gatti. I risultati suggeriscono come sia possibile usare le reti profonde in modo non supervisionato per la classificazione, a patto di fornire sufficiente potenza computazionale e quantità di dati (non etichettati).

Apprendimento Automatico Simbolico

Posteriormente al lavoro di Samuel, negli anni Sessanta, Mark Gold (1967) e Ray Solomonoff (1964) hanno proposto una definizione formale del concetto di “inferenza induttiva.” I loro lavori, tipici dell'approccio algoritmico, sono stati applicati all'inferenza grammaticale, soggetto che, già trattato nell'area del Riconoscimento di Forme (Fu e Booth 1975), è poi migrato verso il nuovo settore dell'Apprendimento Automatico (per esempio, Angluin 1980).

I primi lavori di AA vero e proprio sono degli anni Settanta e vedono protagonisti Gordon Plotkin (1970), Patrick Winston (1970), Ryszard Michalski (1973) e Steven Vere (1980). Tutti lavori che trattano il cosiddetto “apprendimento di concetti” (*Inductive Concept Learning*) e cioè l'apprendimento di descrizioni atte a discriminare oggetti appartenenti a classi diverse.

Il termine “concetto” deriva dal Latino *conicipere* ossia afferrare (un'idea) e, benché intuitivo, sembra sfuggire ad una precisa definizione. Nell'ambito della filosofia e del cognitivismo sono emersi due modi alternativi di guardare al problema: quello “intensionale” e quello “estensionale” (Frege 1892).

Una definizione intensionale dà significato a un concetto specificando le condizioni necessarie e sufficienti affinché un oggetto possa essere considerato come esempio o istanza (positiva) del concetto stesso. Ad esempio, una definizione intensionale del concetto “nubile” è “donna non sposata.” La definizione è valida in quanto essere una donna non sposata è condizione necessaria e sufficiente per essere nubile: è necessaria perché ogni donna nubile è non maritata, ed è sufficiente perché ogni donna non sposata è nubile. Al contrario, la definizione estensionale di un concetto elenca tutti gli elementi appartenenti ad esso: una definizione estensionale di nubile sarebbe un elenco di tutte le donne non sposate nel mondo.

Le definizioni intensionali sono utilizzate al meglio quando il concetto ha un insieme di proprietà chiaramente definito. Una definizione intensionale può anche consistere in “regole” che definiscono un insieme descrivendo una procedura per generare tutti i suoi membri. Ad esempio, una definizione intensionale di numero pari può essere “numero divisibile per due.”

Le definizioni estensionali vengono utilizzate quando l'elenco degli esempi del concetto fornisce informazioni sufficienti alla comprensione del concetto stesso, come nel caso dell'insieme degli esempi di apprendimento.

Tutti gli approcci citati condividono, in un modo o nell'altro, la convinzione che un concetto coincida con la sua descrizione, in altre parole, con la regola che permette di riconoscerne le istanze positive. L'intensione di un concetto, intesa come la sua descrizione, deve poter essere messa in relazione con la sua estensione. Tale obbligo è reso possibile dalla definizione di un predicato di “confronto” (*matching*) che, applicato a una descrizione e a un oggetto, permette di dire se l'oggetto soddisfa o meno la descrizione. Il predicato offre, inoltre, uno strumento per valutare l'adeguatezza della descrizione di un concetto. Infatti, tutti gli oggetti appartenenti ad un certo dominio possono essere suddivisi in “istanze positive” (o esempi) e “istanze negative” (o controesempi) del concetto stesso. Una descrizione è definita “completa” se verificata da tutti gli esempi

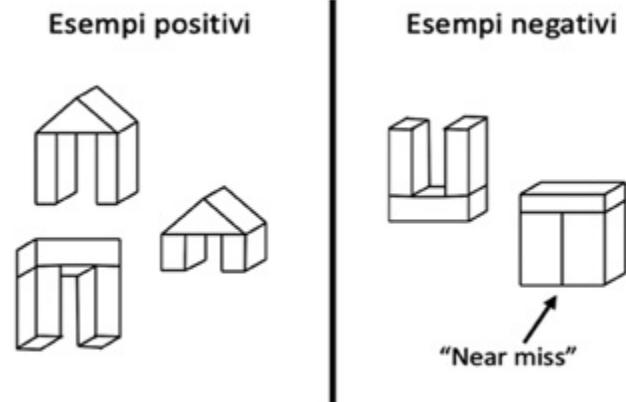


Fig. 4 Esempio di un "mondo di blocchi" da Winston (1970). A sinistra sono riportati gli esempi positivi di "arco", mentre a destra sono descritti gli esempi negativi. I tre esempi negativi sono i near-misses, cioè strutture che non sono archi solo per una singola caratteristica.

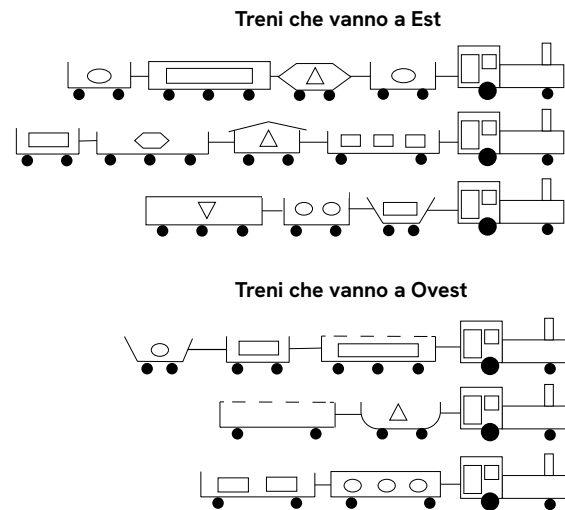


Fig. 5 Set originale dei "treni" di Michalski. Il sistema di apprendimento deve imparare a distinguere i treni diretti a Est da quelli diretti a Ovest, basandosi sulla composizione dei treni e sulle caratteristiche dei singoli vagoni.

di un concetto, e detta "consistente" se non "copre" (ossia, è verificata da) alcuno dei controesempi. Una descrizione completa e consistente rappresenta, quindi, l'ideale traguardo verso cui tende l'apprendimento di concetti. Un traguardo quasi impossibile da raggiungere per problemi del mondo reale.

Per quanto riguarda la descrizione degli esempi, come accennato in precedenza, c'è una profonda differenza tra oggetti strutturati, composti da parti interconnesse e che richiedono un sottoinsieme della Logica del Primo Ordine (FOL) per essere descritti, e oggetti non strutturati, descritti da una lista di attributi per cui è sufficiente la Logica Proposizionale. La complessità computazionale dell'apprendimento di descrizioni strutturate è di ordini di grandezza superiore⁹ all'apprendimento relativo alle descrizioni che non lo sono. Eppure, i pionieri dell'AA si sono tutti dedicati all'apprendimento di concetti strutturati, necessariamente su domini estremamente semplici: il "mondo di blocchi" per Winston e Vere (Fig. 4) e i "trenini" per Michalski (Fig. 5). Plotkin, invece, ha lavorato a un livello più basilare, definendo la relazione "più-generale-di" tra concetti strutturati. Anche se, per ovvi motivi, nessuno dei loro sistemi è stato in grado di essere applicato a domini reali significativi, tuttavia le idee introdotte hanno avuto una grande influenza sullo sviluppo futuro della nuova disciplina.

Come già citato, una svolta importante nella concezione del ML venne da Tom Mitchell che, nel 1982, propose un nuovo modo di guardare al processo di apprendimento: dato un insieme di dati (esempi positivi e negativi di una classe) e un linguaggio per descrivere insiemi di esempi (generalizzazioni), l'apprendimento consiste nell'esplorare lo spazio delle possibili generalizzazioni, o ipotesi, in cerca di quelle che sono consistenti con i dati. Tale visione del *Machine Learning* è più o meno rimasta inalterata, anche se i metodi di ricerca nello spazio delle ipotesi hanno assunto connotati diversi e di complessità crescente.

A mano a mano che venivano proposti nuovi approcci, il settore ha iniziato a organizzarsi e ad assumere un profilo autonomo. Nel 1980, Jaime Carbonell, Ryszard Michalski e Tom Mitchell hanno organizzato, presso la CMU a Pittsburgh, PA, il primo workshop dedicato all'AA. Al workshop ne sono seguiti altri tre, rispettivamente in Monticello, IL, nel 1983, a Skytop, PA, nel 1985 e a Irvine, CA, nel 1987.

I workshop avevano lo scopo di stimolare la creazione di una comunità competente, infatti, la partecipazione era su invito, basato sulla descrizione dell'attività di ricerca fornita dal richiedente. Il numero crescente di persone interessate a partecipare e la varietà dei temi trattati suggerirono di trasformare il workshop in una conferenza pubblica, che ebbe luogo ad Ann Arbor, MI, nel 1988. Ebbe così inizio l'*International Conference on Machine Learning (ICML)*, il più importante forum della disciplina che si è tenuto ininterrottamente, ogni anno, fino ad oggi.

Intanto, nel 1986 esce il primo numero della rivista *Machine Learning*, organo ufficiale per la pubblicazione delle ricerche del settore. La rivista sarà poi affiancata, a partire dal 2000, dal *Journal of Machine Learning Research*.

9. In generale si tratta di problemi della classe NP.

Per il primo decennio della sua vita riconosciuta, il Machine Learning è fiorito soprattutto negli Stati Uniti, ma alcuni ricercatori europei hanno capito, all'inizio degli anni Ottanta, il potenziale dell'argomento e sono entrati nel settore (Loisel e Kodratoff 1981; Bratko e Michie 1987; Lesmo, Saitta e Torasso 1982). È necessario giungere al 1992 per l'approdo dell'ICML in Europa, ad Aberdeen, UK. Parallelamente, a partire dal 1986, una conferenza europea, l'ECML, divenne il punto di riferimento per i ricercatori europei (ma non solo) che lavoravano nel campo.

Gli anni Ottanta hanno segnato l'inizio della ricerca relativa a una teoria dell'Apprendimento Automatico in grado di predire cosa fosse apprendibile in tempo polinomiale e che cosa no. Il lavoro fondamentale di Leslie Valiant (1984) ha dato origine al PAC Learning, acronimo per *Probably Approximately Correct Learning*¹⁰. L'approccio definisce una relazione matematica tra il numero di esempi di addestramento, il tasso di errore e la probabilità che i dati di addestramento disponibili siano in numero sufficiente a garantire il tasso di errore desiderato.

Ritornando alle metodologie, nel 1986 Mitchell – con due collaboratori – ha introdotto un nuovo modo di imparare che sfrutta una “teoria del dominio”, relativa a una classe di oggetti, e un singolo esempio della classe (Mitchell, Keller, e Kedar-Cabelli 1986). Spiegando la ragione per la quale l'esempio appartiene alla classe, si giunge a una generalizzazione utile a rappresentare la classe stessa. Tale approccio è detto Explanation-Based Learning (EBL) o “apprendimento basato sulla spiegazione” per distinguerlo dal precedente, basato solo su esempi e sull'uso di un predicato di *matching*, e chiamato, perciò, Similarity-Based Learning (SBL). In seguito, sono stati proposti molti sistemi che integravano SBL ed EBL, ma la difficoltà di usare teorie significative in applicazioni pratiche ha smorzato gli entusiasmi e l'EBL non ha avuto lunga vita.

Il ML ha anche dato vita a un ramo che lo ha portato a una nuova dimensione: nel 1989, da un workshop organizzato da Gregory Piatetsky-Shapiro all'IJCAI di Detroit, MI, hanno avuto origine il data mining (DM)¹¹ e il Knowledge Discovery in Data Bases (KDD)¹². All'interno del processo di KDD, il data mining è la fase, nella quale le informazioni vengono effettivamente estratte dai dati applicando loro degli algoritmi di Machine Learning (Fig. 6).

La possibilità di sfruttare le tecniche di ML per estrarre conoscenza dalla grande quantità di dati disponibili (*Big Data*) ha portato queste tecniche all'attenzione di un gran numero di potenziali utenti in tutti i domini applicativi.

Le relazioni tra machine learning, data mining e knowledge discovery in data bases non sono state prive di problemi, regnando, all'inizio, una certa confusione sul significato concreto dei termini. Oggi, l'opinione diffusa è che KDD denoti l'intero processo di estrazione della conoscenza, dalla raccolta e preelaborazione dei dati all'interpretazione dei risultati. Il campo della KDD ha le sue conferenze annuali, la *ACM KDD* e la *PKDD* (europea), e la sua rivista *Data Mining and Knowledge Discovery*.

10. Apprendimento Probabilmente Approssimativamente Corretto.

11. Estrazione (di conoscenza) dai dati.

12. Scoperta di conoscenza nelle basi di dati.

Negli anni Novanta due novità molto diverse tra loro si affacciano sulla scena del Machine Learning: l'Ensemble Learning (apprendimento da un insieme di classificatori) e le Support Vector Machine (classificatori con vettori di supporto). L'Ensemble Learning sfrutta l'idea di non generare un solo classificatore, ma un insieme di classificatori per poi combinarne i risultati. I vari approcci proposti si distinguono per il metodo di generazione dei diversi classificatori e per il modo in cui i risultati vengono combinati. Classici metodi di apprendimento da insiemi sono stati il *bagging*, proposto da Leo Breiman (1996), il *boosting*, proposto da Yoav Freund e Robert Shapire (1997) (Shapire 1990) e lo *stacking*, proposto da David Wolpert (1992).

Le macchine a vettori di supporto sono state introdotte da Corinna Cortes e Vladimir Vapnik (1995) e poi rese concretamente applicabili da Thorsten Joachims (1998).

Nell'ottica di un apprendimento quale ricerca ottimizzata in uno spazio di ipotesi, alcuni ricercatori hanno pensato di sostituire i metodi classici di esplorazione con un “algoritmo genetico.” I primi lavori sono dovuti a John Holland (1975), David Goldberg (1989) e Kenneth De Jong (1980) per concetti non strutturati, mentre l'approccio è stato esteso ai domini strutturati da Attilio Giordana e Claudio Sale (1992). Una derivazione di questo approccio è dovuta a John Koza (1992) che ha introdotto il Genetic Programming (programmazione genetica), per la generazione automatica di semplici programmi.

Nell'approccio genetico le possibili ipotesi sono rappresentate mediante cromosomi che sono manipolati da operatori genetici classici opportunamente ridefiniti. La ricerca nello spazio delle ipotesi è guidata dalla *fitness*, misura di bontà associata a ogni ipotesi. L'evolversi dell'algoritmo dovrebbe portare a trovare un'ipotesi di fitness massima o vicina alla massima. Tuttavia, la convergenza all'ottimo non è garantita, anche se le prestazioni sono, in genere, buone.

Un altro tipo di apprendimento molto utilizzato soprattutto per le applicazioni alla robotica è quello del Reinforcement Learning (apprendimento per rinforzo) (Sutton e Barto 2018). L'apprendimento per rinforzo concerne l'acquisizione dell'abilità di agire sul mondo acquisendo *feedback* dalle azioni precedenti. Mediante il reinforcement learning la macchina impara attraverso l'interazione con l'ambiente, per prove ed errori. Non riceve istruzioni su cosa fare ma deve scoprire quali siano le azioni che danno una maggiore ricompensa nel lungo periodo in base al contesto in cui si trova e per il quale non è possibile prevedere a priori tutte le circostanze possibili. Ciò che stimola l'apprendimento è la ricompensa (rinforzo) che l'agente che impara ottiene quando l'obiettivo viene raggiunto. Il rinforzo viene inserito nell'algoritmo di addestramento senza istruzioni dirette su quali azioni intraprendere: sarà il sistema a dedurlo, sulla base di ripetute interazioni con l'ambiente circostante. L'apprendimento per rinforzo fornisce un'opportunità per imparare un comportamento “ottimale.”

Il quadro formale del reinforcement learning è definito in termini di “stati, azioni e ricompense”: le azioni influenzano non solo la ricompensa immediata ma anche le azioni e le ricompense future. Il reinforcement learning viene anche applicato alle reti neurali artificiali, per memorizzare le esperienze e migliorare l'esecuzione del compito (*deep reinforcement learning*).

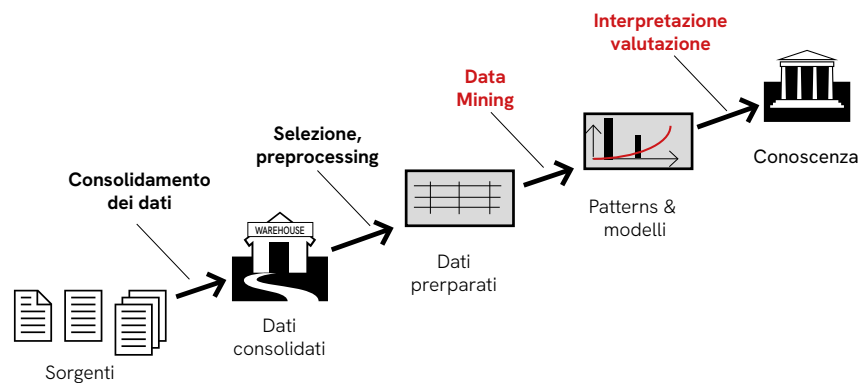


Fig. 6 Processo globale di KDD. I dati grezzi vengono puliti, consolidati e memorizzati in un warehouse. Da qui, quelli utili vengono selezionati e pretrattati (estrazione delle feature, discretizzazione, trattamento dati mancanti, e così via). Un algoritmo di ML opera quindi la vera e propria estrazione della conoscenza, che viene interpretata da un utilizzatore umano e usata nelle applicazioni.

Quanto ai tipi di inferenza usati, l'induzione non è stato il solo meccanismo utilizzato. Sono stati proposti anche lavori basati su analogia (Carbonell 1983), astrazione (Saitta, e Zucker 2013), abduzione (Bergadano, Cutello e Gunetti 2000; Flach e Kakas 2000) e causalità (Kaddour et al. 2022; Neri, Saitta e Tiberghien 1999). In particolare, Michalski nel 1993 propose un approccio multi-strategico (Multistrategy Learning) teso a sviluppare metodi e sistemi che integrano differenti strategie di rappresentazione e/o differenti strategie di inferenza per risolvere un dato compito (Esposito et al. 2000). Per affrontare problemi reali è largamente condivisa l'opinione che una sola metodologia non basti e che i migliori risultati si possano ottenere solo con un sistema flessibile e versatile che sappia adattarsi alle caratteristiche dei problemi.

All'inizio degli anni Novanta, l'apprendimento su domini strutturati è stato ripreso, formalizzato e incanalato in due filoni: il Relational Learning (Quinlan 1990; Bergadano, Giordana, e Saitta 1991; Giordana e Sale 1992) e l'Inductive Logic Programming (ILP, Apprendimento Logico Induttivo) (Muggleton 1992; De Raedt 2008). In entrambi i casi l'apprendimento era ricondotto all'acquisizione di clausole logiche. Nonostante l'ILP sia stato descritto dai proponenti come un nuovo campo dell'apprendimento automatico, di fatto si è trattato di una rivisitazione e di una formalizzazione logica dell'apprendimento induttivo di descrizioni strutturate (Sammut 1993). Emerse subito che l'apprendimento relazionale soffriva di pesanti problemi di complessità di calcolo. Ricerche sulla complessità computazionale dell'apprendimento sono state portate avanti nell'ambito della Computational Learning Theory (COLT) (Valiant 1993). I lavori del settore sono raccolti negli atti della serie di conferenze dello stesso nome (COLT), che si sono svolte dal 1988 ad oggi. Il problema della complessità di calcolo è stato definitivamente messo in luce, nel 2000, da Attilio Giordana e Lorenza Saitta che hanno

dimostrato esserci una "transizione di fase" nello spazio dei parametri dell'algoritmo di apprendimento (Saitta, Giordana, e Cornuéjols 2000). La presenza di questa transizione di fase definisce ampie zone dello spazio dei parametri in cui i problemi corrispondenti risultano insolubili (Giordana e Saitta 2000).

Nel periodo che copre le due decadi a cavallo del Duemila la ricerca europea del settore del ML si è organizzata mediante la creazione di Reti di Eccellenza finanziate dalla CE che raggruppavano i principali centri universitari e industriali attivi nel settore. Sono così nate la MLNet (1992-1994), la MLNet II (1999-2001), la KDNet (2002-2004) e la KDUBiq (2005-2008). Nelle reti menzionate l'Italia è sempre stata presente con l'Università di Torino prima e del Piemonte Orientale poi, occupandosi del coordinamento della ricerca. Le reti hanno giocato un ruolo importante nell'avvicinare l'accademia all'industria e a stabilire collaborazioni tra ricercatori Europei.

Un'altra iniziativa importante è stato il lancio, da parte della *European Science Foundation*, del progetto Learning in Humans and Machines (1994-1997), che, sotto la direzione di Hans Spada (per la parte *human*) e Lorenza Saitta (per la parte *machine*) ha contribuito a stabilire interessanti e fruttuosi legami tra le scienze cognitive dell'apprendimento e l'apprendimento nelle macchine.

Ritornando ai problemi presentati dai domini incerti e affetti da rumore, alcuni ricercatori hanno cercato di integrare l'approccio logico con un approccio statistico. È nato così lo Statistical Relational Learning (SRL) o "Apprendimento Relazionale Statistico", portato avanti, tra altri, da Lisa Getoor (Getoor e Taskar 2007), Luc De Raedt (2008) e Pedro Domingos (Domingos e Lowd 2019; Domingos e Richardson 2006). Per rendere efficienti ed efficaci le inferenze si sono usate, nell'SRL, metaeuristiche e misure di similarità e confronto tra Clausole di Horn. L'induzione di modelli che combinano la programmazione logica con la teoria della probabilità, allo scopo di rappresentare e trattare relazioni complesse e incerte tra le entità di un dominio, è nota come "Probabilistic Inductive Logic Programming" (PILP).

Dati i rapidi avanzamenti nel deep learning e i risultati ottenuti, gli approcci simbolici al ML non hanno registrato, negli ultimi anni, sostanziali avanzamenti metodologici e si sono invece concentrati su uno spettro di applicazioni in cui la comprensibilità del risultato è fondamentale. Si è assistito a una ibridazione di metodi come l'estensione di modelli logici e simbolici al deep learning. Grandi dataset, composti da audio, video, immagini, dati testuali, mail, chat e altro, permettono agli approcci basati su deep learning di estrarre dei modelli matematici; i sistemi basati sulla logica permettono di trattare le informazioni ottenute con metodi simbolici. La promessa e la scommessa dei modelli neuro-simbolici è di riuscire a gestire il ragionamento astratto e la capacità di generalizzare un modello a più domini applicativi, unendo approcci diversi. Estensioni di modelli logici e simbolici al deep learning per l'implementazione di modelli neuro-simbolici sono stati proposti anche recentemente (Garcez e Lamb 2023).

Quanto alle rappresentazioni, la necessità di dover acquisire conoscenza in modo automatico da domini complessi ha portato alla nascita dei Knowledge Graph (KG). Un KG è una rappresentazione strutturata di fatti (entità), relazioni e descrizioni semantiche. Le entità possono far riferimento a oggetti del mondo reale e le relazioni rappresentano il legame fra queste entità. Recentemente la ricerca si è focalizzata sul

Knowledge Representation Learning, o Knowledge Graph Embedding, al fine di mappare entità e relazioni su vettori numerici in grado di catturare la loro semantica. Nel contesto dei KG, l'Apprendimento Automatico può essere utilizzato per risolvere task di "raffinamento" (*refining*), o per risolvere altri task come raccomandazioni (*recommendation*), estrazione di informazioni e risposte a domande (*question answering*).

La ricerca in Italia

Gli inizi della ricerca in apprendimento automatico in Italia si possono far risalire agli studi in Cibernetica e, in particolare, alle ricerche su Reti Neurali Artificiali condotte nel Laboratorio di Cibernetica del CNR fondato da Eduardo Caianiello ad Arco Felice nel 1968. Anche la comunità italiana di Riconoscimento di Forme (*Pattern Recognition*) nasceva in quegli anni e si occupava prevalentemente di metodi di classificazione per l'individuazione di modelli in problemi di riconoscimento del parlato e di analisi di immagini mediante approcci generativi e approcci discriminativi.

Negli anni Ottanta si assiste allo sviluppo di ricerche sull'AA inteso come aspetto dell'intelligenza artificiale, quando gruppi di ricerca delle Università di Torino e Bari iniziarono a lavorare nel campo. Lorenza Saitta ha fondato, nei primi anni Ottanta, il team di Machine Learning presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino, dando vita alle ricerche sull'Apprendimento Automatico. Alla fine degli anni Ottanta è nato, presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Bari, su iniziativa di Floriana Esposito, il laboratorio LACAM (Laboratorio di Acquisizione della Conoscenza e Apprendimento nelle Macchine) con lo scopo di fare ricerca di base e applicata sui metodi e sui sistemi di apprendimento automatico. Un gruppo di pionieri accademici ai quali si affiancarono rapidamente ricercatori di molte altre università italiane, di enti di ricerca e anche di industrie.

Panoramica

Dal punto di vista scientifico, le ricerche si sono concentrate inizialmente sull'apprendimento di concetti per problemi di classificazione e hanno incluso l'intero spettro degli approcci supervisionati e non supervisionati, sostanzialmente basati su inferenza induttiva e generalizzazione dei dati in ingresso, talora integrando conoscenza numerica e simbolica. Gli approcci supervisionati sono partiti dalla costruzione automatica di alberi di decisione, dall'apprendimento di relazioni e da Algoritmi Genetici e si sono poi estesi alle reti neurali e alle kernel machine. Gli approcci non supervisionati, noti come *conceptual clustering*, nati per elaborare dati raggruppando gli elementi di un insieme in classi non assegnate a priori, hanno avuto sin dall'inizio interessanti applicazioni.

La tradizionale differenza tra approcci sub-simbolici e simbolici fu presto superata e si fece riferimento piuttosto alla forma dei dati disponibili, dai vettori di dati numerici, tipici del Riconoscimento di Forme, a coppie <attributo-valore> e a forme più complesse di relazioni tra i dati. Seguendo quanto veniva proposto in sedi scientifiche

internazionali, anche in Italia si passò a esprimere la conoscenza in forma di clausole di Horn nell'Apprendimento Relazionale (*Relational Learning*) e l'Apprendimento Logico Induttivo (ILP = *Inductive Logic Programming*). Emergendo nell'immediato come l'apprendimento relazionale fosse caratterizzato da pesanti problemi di complessità di calcolo, si svilupparono ricerche sulla Teoria Computazionale dell'Apprendimento (*Computational Learning Theory*), che affrontarono i problemi della complessità di calcolo, dei cambi di rappresentazione e della incrementalità. Parallelamente, anche lo studio delle reti neurali si è sviluppato fino ad arrivare alle "reti profonde" e alle loro applicazioni.

La vastissima disponibilità di dati in formato elettronico ha favorito la nascita del data mining, lo sviluppo di tecniche e metodologie che hanno per oggetto l'estrazione di informazioni utili da banche dati, le *data warehouse*, e da altri tipi di archivi. L'uso di metodi di apprendimento automatico è così diventato generalizzato.

Preistoria - anni 1960-1989

Come detto in precedenza, l'AA è apparso sulla scena internazionale negli anni Sessanta e si è sviluppato durante tutti gli anni Settanta, prevalentemente negli USA, in modo non sistematico. Il 1980 è l'anno del primo *Workshop sul Machine Learning*, e, in particolare, della sistematizzazione dell'insieme di lavori che ha consentito all'AA di diventare una vera e propria disciplina. Durante gli stessi anni, alcuni ricercatori italiani, che lavoravano su problemi di riconoscimento di forme, hanno iniziato ad avvicinarsi pionieristicamente all'AA per poi abbracciare la disciplina in modo totale.

In particolare, alla fine degli anni Settanta il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino era impegnato (tra le altre) nella ricerca sui Sistemi Esperti per la Medicina, da un lato, e nel Riconoscimento del Parlato dall'altro.

Dal momento che in entrambe le tematiche era emersa la difficoltà di programmare in dettaglio i sistemi per la diagnosi e il riconoscimento, si è iniziato ad automatizzare (in parte) il processo, con il risultato di introdurre, *de facto*, tecniche di apprendimento. Non essendo definito il concetto di apprendimento automatico, i diversi approcci sono stati concettualmente situati nel Riconoscimento di Forme (Lesmo, Saitta, e Torasso 1982) o nell'induzione grammaticale (De Mori e Saitta 1980).

Negli stessi anni l'Istituto di Scienze dell'Informazione dell'Università di Bari (in seguito Dipartimento di Informatica) era impegnato in diverse ricerche di Riconoscimento di Forme. Un gruppo di ricercatori si occupava di studiare e mettere a punto metodologie di analisi statistica multivariata dei dati per lo studio di fenomeni complessi in ambito medico, finalizzate alla diagnosi precoce e alla messa a punto di modelli epidemiologici. Il gruppo era anche interessato allo sviluppo di sistemi di *Computer Assisted Instruction* (Istruzione Assistita da Computer), con attenzione alla formulazione di modelli dello studente che utilizzavano regole diagnostiche di classificazione apprese automaticamente. Anche se non si trattava esplicitamente di processi di apprendimento automatico, i metodi utilizzati avevano l'obiettivo di evidenziare le regolarità indotte dall'analisi dei dati traducendole in forme di conoscenza possibilmente comprensibile. Quindi, le ricerche sull'AA iniziarono con l'intento di integrare metodi tradizionali



Fig. 7 Da sinistra: Tom Mitchell, Ryszard Michalski e Jaime Carbonell alla "Scuola di Machine Learning", tenutasi a Urbino nel 1989.

numerico-parametrici di classificazione con i metodi simbolico-concettuali tipici della disciplina ormai definita come Intelligenza Artificiale.

Ma intanto l'AA aveva cominciato a diffondersi, giungendo in Europa grazie all'organizzazione della Scuola di Machine Learning a Les Arcs, in Francia, nel 1987, dove si sono trovati riuniti i ricercatori Europei interessati all'argomento. L'occasione fu determinante per la gestazione delle Reti di Eccellenza in Machine Learning sostenute dalla Comunità Europea. Alcuni membri del Dipartimento di Informatica di Torino parteciparono alla scuola; inoltre, Lorenza Saitta, tra gli invitati al *Workshop di Irvine* nel 1987, al ritorno da Les Arc fondò formalmente un gruppo di ricerca sull'AA con Attilio Giordana e Francesco Bergadano.

In realtà il gruppo aveva già costruito un sistema di apprendimento orientato al riconoscimento del parlato utilizzando esempi e conoscenza del dominio e tenendo conto esplicitamente della presenza di incertezze ed errori nei dati (Giordana e Saitta 1985). L'apprendimento era semi-automatico, in quanto era prevista una possibile interazione con un esperto umano. È da notare che all'epoca (1985) non c'erano ancora metodologie assestate e si procedeva in modo piuttosto empirico. Il sistema è poi evoluto verso l'apprendimento totalmente automatico di classificatori e una migliore formalizzazione (Bergadano, Giordana, e Saitta 1988). La conoscenza appresa era rappresentata sotto forma di regole di produzione organizzate in cluster separati, collegati tra loro in una struttura a grafo.

Negli stessi anni l'interesse per lo sviluppo di modelli che fossero in grado di indurre automaticamente classificatori a partire da informazioni numeriche e simboliche ha portato il Laboratorio LACAM dell'Università di Bari a condurre ricerche in ambiti diversi, spaziando dall'implementazione di diversi approcci all'apprendimento automatico, allo sviluppo di sistemi intelligenti. Sin dall'inizio si è indagato sulla possibilità di combinare in un approccio ibrido l'efficienza dei classificatori parametrici con la potenza espressiva delle rappresentazioni usate nell'apprendimento induttivo concettuale, derivate dalla logica computazionale. La sfida è consistita nell'integrare apparati formali, teorie e metodi intensionali ed estensionali, confrontandosi con il noto problema della complessità di calcolo.

Come avvenuto nello sviluppo internazionale del Machine Learning, anche gli approcci usati a Torino e Bari erano, sin dall'inizio, orientati all'apprendimento in domini strutturati, forse anche ispirati da Ryszard Michalski, che sia Floriana Esposito che Lorenza Saitta conoscevano di persona e con cui avevano stabilito dei rapporti di cooperazione.

Verso la fine degli anni Ottanta le ricerche sull'AA si stavano estendendo a livello internazionale con l'introduzione di nuove metodologie. La proposta dell'EBL (Explanation Based Learning) ha portato alla ibridizzazione, da parte del gruppo di Torino, tra gli approcci SBL ed EBL (Bergadano, Giordana, e Saitta 1987). Contemporaneamente, il primo sistema di apprendimento era evoluto verso il sistema ML-SMART (Bergadano et al. 1989; Bergadano, Giordana, e Saitta 1987). La conoscenza acquisita consisteva di regole di produzione, la cui parte "condizione" era espressa in un linguaggio logico del primo ordine, che conteneva anche quantificatori numerici. L'uso di variabili e funzioni consentiva di descrivere facilmente concetti altamente strutturati.

L'esperienza acquisita nello sviluppo di sistemi di apprendimento ha fatto sì che, nel 1988, alla prima edizione pubblica del workshop che sarebbe poi diventato l'*International Conference on Machine Learning* (ICML) l'Italia fosse presente con due lavori, uno del gruppo di Torino (Bergadano e Giordana 1988) e uno della Fondazione Ugo Bordoni di Roma (Carpineto 1988).

Intanto, l'espandersi delle ricerche Italiane sull'AA, congiuntamente alla fondazione dell'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale, nel 1988, ha giustificato la creazione all'interno dell'associazione, nel 1989, del Gruppo di Interesse Speciale sull'Apprendimento Automatico (GISAA), la cui prima responsabile è stata Lorenza Saitta, che aveva intanto organizzato la prima *Scuola di Machine Learning* a Urbino, invitando Tom Mitchell, Jaime Carbonell e Ryszard Michalski (Fig. 7).

Gli inizi - anni 1990-1993

A partire dal 1990 il GISAA ha tenuto annualmente, fino ad oggi, un evento che può essere considerato lo specchio della ricerca nel settore in Italia. La maggioranza dei contributi citati in questo paragrafo sono apparsi negli atti dei primi quattro workshop, che si sono tenuti, nell'ordine, a Torino, a Bari, a Roma e a Milano. I primi anni Novanta hanno visto un fiorire di attività, sia presso università e centri di ricerca, che presso industrie.

La classificazione e l'apprendimento di concetti erano largamente rappresentati. All'IRST di Trento, istituto per la ricerca scientifica fondato nel 1976 e dedicato all'intelligenza artificiale a partire dal 1985, sotto la direzione di Luigi Stringa¹³, Anio Arigoni e Vittorio Maniezzo avevano lavorato sulla formalizzazione della struttura dei concetti in funzione dell'informazione cognitiva relativa alle entità che li definiscono. Inoltre, Francesco Ricci ha presentato un modello di decisore, detto *learning automation*, che dimostra un comportamento adattativo in un ambiente stocastico altamente incerto. Il modello è stato usato per risolvere problemi di soddisfazioni di vincoli mediante una procedura di *hill climbing* in uno spazio probabilistico.

Alla Fondazione Ugo Bordoni (FUB), a Roma, Claudio Carpineto aveva sviluppato il sistema LEX, basato su una metodologia di "spazio delle versioni" generalizzata e, in seguito, aveva lavorato sull'induzione di concetti in presenza di *shift of bias*¹⁴ e sui laticci di concetti e *clustering* concettuale, realizzato nel sistema GALOIS (Carpineto e Romano 1996). All'Università di Genova il gruppo di Gianni Vernazza aveva applicato l'AA al riconoscimento di immagini, mentre un'applicazione al linguaggio naturale è stata anche presentata da Roberto Basili, Maria Teresa Pazienza e Paola Velardi all'Università di Roma Tor Vergata, relativa all'acquisizione automatica di ontologie verbali da un corpus specializzato.

13. Per questi aspetti, si veda il contributo "Intelligenza artificiale, rappresentazione della conoscenza" di Luigia Carlucci Aiello.

14. Si dice che si ha uno *shift of bias* quando il concetto da apprendere cambia nel tempo.

All'Università di Trento, Carl Uhrík e Gianni Jacucci si sono occupati di quantizzazione dinamica di attributi continui, mentre un gruppo della ELSAG di Genova ha lavorato sul sistema LETOR, che ricercava, in ambiente rumoroso, attributi e pesi caratterizzanti le regole di basi di conoscenza. Il sistema è stato applicato alla individuazione della posizione dell'indirizzo in oggetti postali.

All'IBM di Roma Luigi Di Pace e Filippo Fabrocini avevano sviluppato, nel sistema DF, un'integrazione tra metodi empirici (SBL) e analitici (EBL) in ambienti affetti da rumore. In particolare, l'apprendimento poteva avvenire in presenza di un numero ristretto di esempi non classificati e descritti in modo incompleto e di una teoria approssimata ma plausibile del dominio, rappresentata da una rete Bayesiana. In seguito, i due ricercatori hanno sfruttato, nel sistema KAMD, una metodologia non supervisionata per costruire delle teorie esplicative a partire da osservazioni sperimentali sui composti sintetizzati durante il progetto di farmaci. Infine, hanno presentato uno studio sull'apprendimento da tipicità. In questo caso, gli esempi di apprendimento non erano classificati come positivi o negativi, ma avevano associata una misura di distanza da un prototipo ideale. Infine, un altro gruppo di ricercatori dell'IBM di Roma ha applicato le reti neurali nella visione 3D; in particolare, le reti sono state usate per la segmentazione di scene e per il riconoscimento di oggetti reali in 3D.

Presso l'Università dell'Aquila Alberto Marchetti Spaccamela e Marco Protasi hanno affrontato temi più formali, come quello di apprendere in modo polinomiale formule Booleane e formule espresse come μ -DNF mediante alberi di decisione. Una tematica analoga è stata affrontata all'Università di Salerno in collaborazione con la TECSIEL di Castel Romano e il CNR IRSIP di Napoli: una rete neurale deterministica, di tipo incrementale, a tre livelli, era usata per apprendere concetti rappresentati da formula k-DNF, definiti su stringhe binarie di lunghezza fissa. Nella stessa università Pasquale Caianiello aveva sviluppato il meta-sistema ALPHABETA, orientato all'implementazione e alla verifica di sistemi di apprendimento.

Lavori sull'apprendimento computazionale, che nasceva in quegli anni, e sulle reti neurali erano anche portati avanti da Alberto Bertoni, Bruno Apolloni e Giancarlo Mauri (Apolloni et al. 1991; Bertoni et al., 1993) presso l'Università di Milano. In particolare, si è esplorata la possibilità di far cooperare un approccio simbolico, basato sulla teoria computazionale PAC, con un approccio sub-simbolico, dove una rete neurale si comportava come un oracolo imperfetto ma realistico. Nello stesso ambito Riccardo Adami e Giancarlo Mauri hanno dimostrato l'equivalenza tra diversi modelli di predizione presentati in letteratura, mentre Bruno Apolloni, Claudio Ferretti e Giancarlo Mauri hanno studiato l'approssimazione di problemi di ottimizzazione, dove determinare il grado di approssimazione può essere visto come il compito di imparare un concetto segreto. Gli stessi ricercatori hanno adottato un formalismo che estende il protocollo PAC alle funzioni a valore reale per ottenere nuove stime del numero di esempi necessari per apprendere funzioni secondo un criterio di bontà basato su confronti d'ordine delle etichette.

Anche nel settore delle reti neurali c'è stata in quegli anni una intensa attività; ad esempio, Sergio Taraglio, nella sede di Roma dell'ENEA, ha confrontato due architetture neurali (Macchina di Boltzman e Mappa di Kohonen) su un problema di

riconoscimento di caratteri, ottenuti a mezzo di uno scanner di documenti. La macchina di Boltzman opera in modo supervisionato, mentre la mappa di Kohonen opera in modo non supervisionato. All'Università di Roma La Sapienza, Sandro Nicole ha sviluppato delle reti neurali con inibizione per la modellazione di strutture cerebrali.

L'apprendimento nelle reti neurali mediante la regola di Hebb è stato studiato da un gruppo di ricerca dell'Università di Napoli (Bini Verona et al. 1991). La regola è applicata a una rete neurale deterministica, composta da unità lineari a soglia, con l'aiuto di alcune regole di correzione degli errori generati dal rumore. Gli stessi autori hanno proposto un calcolatore neurale generale, in cui la CPU di una architettura MIMD è una rete neurale, in cui sono stati implementati sia gli algoritmi aritmetici e logici sia il sistema operativo. Presso il CNR di Roma, Stefano Nolfi e Domenico Parisi hanno presentato una panoramica di alcune ricerche sulle reti neurali, analizzandole e confrontandole.

Presso l'Università di Firenze viene fondato da Giovanni Soda nel 1988 il Laboratorio di Intelligenza Artificiale, attivo in varie aree di ricerca e trasferimento tecnologico, legate a tecniche di apprendimento automatico, applicazioni di bioinformatica e algoritmi per riconoscimento e analisi di documenti. Il gruppo di ricerca ha anche lavorato su reti neurali ricorrenti (Frasconi et al. 1996; Frasconi, Gori, e Sperduti 1997).

Un approccio all'integrazione tra una rete neurale e regole simboliche è stato proposto, più tardi (2006), all'Università delle Marche, da Guido Tascini: le regole venivano estratte da gruppi di pesi sinaptici della rete, unendo l'efficacia diagnostica della rete alla comprensibilità delle regole.

Gli studi sulle reti neurali hanno anche contemplato tentativi di ibridizzazione con metodologie differenti. Per esempio, un'estensione dell'EBL all'apprendimento sub-simbolico è stata presentata da Alessandro Mazzetti presso la CAP-Gémini-Sysdata di Milano; l'approccio consiste nello specializzare della conoscenza già esistente in modo deduttivo. Lo stesso Mazzetti, in collaborazione con Elisabetta Binaghi e Antonio Guerriero, ha sviluppato un sistema ibrido, basato su reti neurali e *fuzzy set*, per l'acquisizione di regole *fuzzy* per la diagnosi medica. Sempre in collaborazione con Elisabetta Binaghi, Alessandro Mazzetti ha proposto un'integrazione di conoscenza dipendente dal problema nella formulazione dell'algoritmo di *backpropagation*, in modo da controllare e migliorare la procedura di apprendimento. La conoscenza è rappresentata mediante la logica *fuzzy*.

Un'industria molto attiva nel campo dell'AA, nei primi anni Novanta è stata lo CSELT (poi TILAB), appartenente al gruppo TELECOM, dove un team di ricercatori, comprendente Roberto Gemello, Franco Mana e Rossella Bisio, ha collaborato con il gruppo di ricerca dell'Università di Torino applicando l'AA a problemi reali, quali le diagnosi di anomalie in sistemi di telecomunicazioni orientate, in particolare, alla gestione del traffico di una rete telefonica a commutazione di circuito. È stato, inoltre, sviluppato un sistema originale, RIGEL (Gemello, Mana, e Saitta 1991) che ha introdotto un corpo separato di conoscenza euristica per guidare la ricerca. Lo sviluppo di RIGEL si è ispirato al sistema INDUCE di Michalski (1983) dal quale RIGEL ha acquisito il linguaggio di rappresentazione VL_2 e il concetto di *covering* e di *star*.

Un altro settore dell'AA in cui si è cimentato lo CSELT è stata la progettazione del sistema integrato induttivo/deduttivo MERLINO, per la costruzione semi-automatica

di basi di conoscenza incrementali; il sistema offre un ambiente in cui un esperto umano crea una base di conoscenza di tentativo, che viene poi raffinata mediante una serie di strumenti progettati allo scopo.

Il gruppo di AA di Torino, intanto, in seguito a una collaborazione con la SOGESTA, compagnia del gruppo ENI, con sede a Urbino, la cui missione aziendale era l'organizzazione di attività didattiche, realizzò una versione del sistema ML-SMART, chiamata ENIGMA (Giordana et al. 1993), con cui è stato costruito un sistema esperto per diagnosticare malfunzionamenti in apparati elettromeccanici, da semplici pompe a grandi alternatori. L'efficacia di ENIGMA nell'acquisizione di conoscenze sofisticate e nella gestione di esempi strutturati complessi era in gran parte dovuta al sistema di gestione di una base di dati sottostante, che supportava gli operatori di apprendimento, definiti a livello astratto, con un insieme di primitive, tratte dal campo delle basi di dati deduttive. Inoltre, mediante elicitazione personale, si era provveduto ad acquisire la conoscenza del super-esperto che operava la diagnosi e a codificarla in una rete causale che guidava la ricerca delle regole relative alle varie disfunzioni. Il sistema è stato usato in campo per diversi anni sia per la diagnosi sia per l'insegnamento.

Al LACAM di Bari, la spinta a sviluppare sistemi che potessero operare in contesti reali, quali l'elaborazione automatica di documenti e l'interpretazione di mappe, consentì lo sviluppo di collaborazioni con Olivetti Systems & Networks e con il Dipartimento di Urbanistica del Politecnico di Bari. Nell'ambito di progetti internazionali e nazionali furono sviluppati diversi sistemi prototipali, tra i quali INDUBI per la comprensione di documenti a partire dalle immagini (*Document Image Understanding*) e INGENS per l'interpretazione di mappe. Altri sistemi furono sviluppati esplorando l'applicabilità di tecniche di AA all'estrazione intelligente di documenti dal Web (WEBCLASS) e alla gestione di *Digital Library* (IDL) (Semeraro et al. 1997).

L'esigenza di confrontarsi con problemi reali portò a focalizzare l'attenzione sul problema dell'apprendimento induttivo in presenza di "rumore", inteso nel significato cibernetico del termine, vale a dire in presenza di incertezza e/o di incompletezza delle descrizioni degli esempi utilizzati nelle fasi di addestramento. La gestione puramente sintattica delle descrizioni, tipica della logica computazionale, si è rivelata inadatta alla manipolazione di informazioni da interpretare alla luce di vari tipi di contesti e conoscenze di fondo che ne determinano semantica e comportamento. L'inadeguatezza ha fatto emergere l'esigenza di sostituire un *matching* canonico, tipicamente usato dai sistemi simbolici sia in fase di generalizzazione induttiva che di classificazione, con un *matching* "flessibile." Si è, a tal fine, proposta la teoria della probabilità per definire una "misura di similarità" o della complementare "misura di distanza" (Esposito, Malerba, e Semeraro 1991, 1992) tra le diverse descrizioni simboliche strutturali, espresse in una estensione della Logica del Primo Ordine.

Al Politecnico di Milano Marco Dorigo e Vittorio Maniezzo avevano iniziato a occuparsi di algoritmi genetici, mostrando come potessero essere fruttuosamente trasferiti dal campo dell'ottimizzazione all'apprendimento automatico. Algoritmi Genetici sono stati applicati da Andrea Bonarini, Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo, Graziano Ravizza e Domenico Sorrenti al controllo di un robot fisico, "AutonoMouse", dotato di semplici sensori e attuatori. Il robot interagiva con un ambiente sconosciuto,

utilizzando un apprendimento non supervisionato per realizzare il semplice compito di raggiungere una posizione specificata, nonostante la presenza di ostacoli. Marco Dorigo è rimasto al Politecnico di Milano fino al 1993, per trasferirsi poi all'IRIDIA in Belgio. Dorigo ha dato inizio, insieme a Vittorio Maniezzo e Alberto Colorni, allo studio dell'*Ant Colony Optimization* (Dorigo e Stützle 2004) e alla *Swarm Intelligence* (Bonabeau, Dorigo, e Theraulaz 1999).

All'Università di Trento Roberto Battiti ha introdotto un tipo particolare di algoritmo stocastico, la "Ricerca Tabù," nell'apprendimento delle reti neurali, visto come un problema di ottimizzazione combinatoria.

L'uso di Algoritmi Genetici è stato adottato anche da Attilio Giordana e Claudio Sale (1992), che per primi li hanno applicati all'apprendimento su domini strutturati. La linea di ricerca ha dato, in seguito, origine a REGAL, sistema in grado di apprendere concetti strutturati disgiuntivi (Giordana e Saitta, 1994; Neri e Saitta 1996). Il linguaggio di rappresentazione includeva congiunzione, disgiunzione, negazione, disgiunzione interna e quantificazione esistenziale, e definiva cinque operatori genetici: *crossover* a due punti e uniforme, *crossover* specializzante e generalizzante e *seeding*. Oltre all'introduzione degli algoritmi genetici, il gruppo di Torino aveva esplorato anche nuove tecniche di apprendimento basate su metodi di ragionamento alternativi, quali l'astrazione e la causalità. Le tecniche di astrazione miravano a ridurre la complessità computazionale e aumentare la significatività della conoscenza appresa mediante l'introduzione di concetti di alto livello (Giordana e Saitta 1990). Nel contesto dell'apprendimento, l'astrazione consiste in un mapping tra linguaggi di rappresentazione. Per quanto riguarda la causalità, è stato sviluppato il sistema WHY (Baroglio, Botta, e Saitta 1994), che imparava una base di conoscenza diagnostica partendo da esempi e da una conoscenza *a priori*, caratterizzata da un modello causale del dominio, che stabilisce le relazioni tra i fenomeni di base, e da una teoria fenomenologica che lega il modello causale alle possibili manifestazioni nel mondo. Il modello causale è usato in modo abduttivo, la conoscenza fenomenologica in modo deduttivo e gli esempi in modo induttivo. Il sistema WHY è anche stato usato da Filippo Neri (1993) in un esperimento cognitivo, dove l'apprendimento è considerato come un processo di comunicazione tra due agenti: un "maestro" sceglie gli esempi da mostrare e un "allievo" deve usarli per apprendere incrementalmente il modo di risolvere un problema. Viene anche studiato l'effetto della selezione degli esempi e dell'ordine con cui sono presentati.

L'astrazione è stata anche usata da Anio Arigoni e Vittorio Maniezzo nella formalizzazione e sintesi di concetti. Gli stessi due ricercatori hanno proposto l'algoritmo NIELLO, applicato a problemi di apprendimento stimolo/risposta non supervisionati in robot mobili autonomi.

Gli anni 1994-2000

A partire dai lavori citati la ricerca si è estesa a tutti i settori dell'apprendimento automatico, fornendo un corpus di risultati rilevanti. Una direzione seguita da diversi ricercatori è la *Multi-Strategy Learning* (Apprendimento a strategie multiple) portato

avanti da Michalski in una serie di workshop, di cui uno tenutosi a Desenzano sul Garda nel 1998 (Esposito, Michalski, e Saitta 1998; Saitta, Botta, e Neri 1993; Giordana et al. 1997). Considerando il detto approccio strategico, il sistema WHY, sviluppato a Torino, è stato raffinato al punto da poter essere usato all'interno del progetto nazionale francese Cognitique, per simulare l'acquisizione di conoscenze di Fisica elementare da parte di scolari della scuola primaria (Neri, Saitta, e Tiberghien 1997).

Presso l'Università di Bari, i ricercatori del LACAM hanno sempre perseguito la possibilità di combinare, secondo un approccio "ibrido" l'efficienza dei classificatori parametrici con la potenza espressiva delle rappresentazioni derivate dalla logica computazionale, integrando apparati formali, teorie e metodi intensionali ed estensionali. Ci si è confrontati con il problema di apprendere relazioni di causalità e di ottimizzare gli alberi di decisione appresi mediante opportune strategie di *pre-pruning* (Esposito, Malerba, e Semeraro 1997a; 1997b). Si è tentato di superare i limiti imposti dalla gestione dell'informazione numerica utilizzando informazione tassonomica e/o ontologica, dando origine a una serie di studi finalizzati all'estensione delle rappresentazioni logico-concettuali con elementi numerici (Esposito, Malerba, e Marengo 2001a).

Nel 1995, il sistema AutonoMouse, presentato nel 1991 da Marco Dorigo, è stato ulteriormente raffinato, costruendo un controllo adattativo del robot, attraverso l'utilizzo di un *classifier system* (Dorigo 1995). L'uso del sistema citato pone vincoli di efficienza, che vengono soddisfatti usando il parallelismo, una architettura distribuita e allenamento. Gli esperimenti mostrano che il robot reale è capace di imparare a raggiungere una sorgente di luce in presenza di diversi tipi di rumore. Ancora nell'ambito della Robotica, il gruppo di Torino ha applicato l'AA a un braccio robotico reale, nell'ambito del Progetto Europeo B-LEARN (Baroglio et al. 1996). Si sono studiate e confrontate tecniche alternative di controllo in tempo reale, basate su *multilayer perceptron*, reti neurali a *radial basis function*, e controllori *fuzzy*. Gli algoritmi di apprendimento sono stati provati su un robot KUKA IR-361 in un compito "*peg-into-hole*"¹⁵.

Dal 1996, il Laboratorio SAILab (Siena Artificial Intelligence Laboratory), presso l'Università di Siena, ha svolto attività di ricerca nel campo delle tecniche e applicazioni di Intelligenza Artificiale e Apprendimento Automatico: lo studio di modelli di reti neurali per l'elaborazione di dati strutturati, l'apprendimento da vincoli, i metodi kernel, i sistemi ibridi neurali/markoviani, l'estrazione di informazioni da dati non strutturati o semi-strutturati e il web-mining con attenzione ai campi applicativi della visione artificiale e della bioinformatica. In particolare, il gruppo di ricerca guidato da Marco Gori lavora sulle connessioni tra AA, ragionamento e ottimizzazione, nell'ottica di ottenere una visione sistematica tesa a integrare descrizioni logiche e informazioni di tipo percettivo caratteristiche della visione artificiale (Gori et al. 1999).

Un primo gruppo di ricerca sul Machine Learning è stato creato, a Pisa, da Antonina Starita, che, formatasi alla scuola di Eduardo Caianello, si è trasferita prima presso il CNR-IEI e, nel 1980, al Dipartimento di Informatica dell'Università. Il suo contributo alla formazione di ricercatori è tuttora rappresentato dal gruppo di ricerca CIML.

15. Perno-nel-foro.

(Computational Intelligence & Machine Learning) dell'Università di Pisa, che continua a svolgere attività di ricerca scientifica nel campo del Machine Learning, concentrandosi sulla ricerca fondamentale e applicata, in particolare sull'apprendimento da dati complessi e strutturati.

Dagli anni Novanta, il gruppo è all'avanguardia nello sviluppo di nuovi modelli, come reti neurali (Sperduti e Starita 1993, 1997), kernel e modelli generativi, con una leadership internazionale nella creazione di modelli efficienti per l'apprendimento di dati strutturati (sequenze, alberi e grafi) e, più recentemente, nel campo dell'apprendimento continuo. Inoltre, il gruppo ha una tradizione trentennale di progetti di ricerca applicata in aree scientifiche come la biomedicina, la chimica, l'ingegneria e la robotica, a livello accademico e industriale.

Sempre a Pisa, nel 1996, viene fondato il KDD Lab (Knowledge Discovery and Data Mining Laboratory), un laboratorio congiunto tra il Dipartimento di Informatica dell'Università e il CNR CNUCE, confluito, l'anno successivo, nel CNR ISTI su iniziativa di Fosca Giannotti, Dino Pedreschi e Franco Turini¹⁶. La missione del KDD Lab copre tre assi: ricerca, applicazioni e formazione. La ricerca fu inizialmente diretta verso modelli dichiarativi del processo di estrazione della conoscenza basati sulla logica (Giannotti et al. 1999), frutto delle precedenti attività di ricerca del gruppo in ambito programmazione logica, database deduttivi e basi di dati spazio-temporali.

L'anno 1996 è stato un anno importante per l'AA italiano, in particolare perché, per la prima e unica volta, la conferenza *ICML* si è tenuta in Italia, a Bari, presieduta e organizzata da Lorenza Saitta e Floriana Esposito.

Nel periodo di riferimento del presente paragrafo, anche lo CSELT ha iniziato a occuparsi di data mining. In particolare, Marco Richeldi, Mauro Rossotto e Fabio Malabocchia (1994) si sono occupati di discretizzazione statistica di attributi continui per l'apprendimento supervisionato, mentre Rossella Bisio (1994) ha presentato un'applicazione di apprendimento alla costruzione di modelli a scatola nera dell'ambiente di interazione di un sistema di gestione per telecomunicazioni, al fine di simulare prove di carico limite.

Nel settore dell'ILP, Fabrizio Riguzzi, in collaborazione con Evelina Lamma e Antonio Kakas, ha mostrato come induzione e abduzione possano essere integrate nel framework Abductive Concept Learning (ACL), che è una estensione dell'ILP al caso in cui sia la conoscenza di base che quella da apprendere siano programmi logici abduktivivi (Kakas e Riguzzi, 1997).

All'Università di Padova l'AA è stato oggetto di studio per lungo tempo e con notevole successo, sotto la guida di Alessandro Sperduti che, a partire dai primi lavori con Antonina Starita (Sperduti e Starita 1993, 1997), si è occupato per molti anni di reti neurali e, in seguito, di metodi kernel (Navarin, Van Tran, e Sperduti 2020) e process mining (Navarin, et al. 2020). In particolare, nei lavori recenti sono state usate reti convolutive a grafo, con innovativi operatori convolutivi (Pasa, Navarin e Sperduti 2022), oppure con l'introduzione nel processo di apprendimento di informazioni portate da

16. Dal 2021 al KDD Lab partecipa anche la Scuola Normale Superiore.

moderni kernel a grafo. Per quanto riguarda il process mining, Sperduti è stato tra i firmatari del "Process Mining Manifesto", scritto dai membri della corrispondente *IEEE* Task Force.

Ritornando ai vari tipi di apprendimento relazionale, ILP incluso, osservando che molti problemi "difficili" presentano una stretta "transizione di fase" rispetto a qualche parametro d'ordine, unita a un forte aumento della complessità computazionale, Attilio Giordana e Lorenza Saitta hanno dimostrato, usando metodi di fisica statistica, che anche il caso semplice del *matching* tra una classe di clausole di Horn generate artificialmente e un insieme di istanze è di questo tipo e presenta una tipica transizione di fase nella solvibilità rispetto sia al numero di letterali nella clausola sia al numero di costanti presenti nell'istanza da abbinare (Giordana e Saitta 2000). Inoltre, transizioni di fase appaiono anche nei problemi di apprendimento del mondo reale e gli algoritmi di apprendimento tendono a generare ipotesi induttive che si trovano esattamente sulla transizione di fase. D'altra parte, un'ampia sperimentazione ha rivelato che non tutti i problemi di apprendimento che si trovano all'interno della regione della transizione di fase sono insolubili. Sfortunatamente, però, non si riesce a identificarli a priori (Saitta, Giordana, e Cornuéjols 2011).

Negli anni in esame, l'AA è entrata in stretta collaborazione con i domini limitrofi della percezione e della robotica. All'Università di Genova Marco Accame e Francesco De Natale (1995) hanno aggiunto capacità di apprendimento, mediante un *multi-layer perceptron*, a un sistema di sensori visuali. All'Università di Brescia Riccardo Cassinis, D. Grana e Alessandro Rizzi (1995) hanno descritto un sistema di localizzazione per robot mobili; il sistema permette a un robot autonomo di localizzare sé stesso lungo una traiettoria appresa in un ambiente dinamico. I dati necessari sono forniti da un sistema di percezione visiva omni-direzionale che fa uso di preelaborazione ottica mediante una rete neurale. All'Università di Brescia, Giovanni Adorni, Stefano Cagnoni e Monica Mordonini (1999) hanno dimostrato come il ragionamento geometrico e la programmazione genetica possano essere usate per progettare un robot che gareggia nella RoboCup, l'annuale competizione di calcio per robot di medie dimensioni. Il lavoro descrive il controllo dei sottosistemi di visione e moto; la percezione visiva è realizzata mediante un sistema di visione binoculare.

Gli anni recenti dal 2001 a oggi

Il laboratorio LACAM di Bari continua a sviluppare metodi e sistemi che integrano differenti strategie di rappresentazione per risolvere un dato compito e/o differenti strategie di inferenza (Esposito et al. 2000; Malerba 2003; Lisi e Malerba 2004; Appice et al. 2006). Per affrontare problemi reali, infatti, è largamente condivisa l'opinione che una sola metodologia non basti e che i migliori risultati si possano ottenere solo con un sistema flessibile e versatile, che sappia adattarsi alle caratteristiche dei problemi (Malerba et al. 2004; Ceci, Berardi, e Malerba 2007).

Si è anche affrontato il problema dell'incrementalità: gli approcci tradizionali all'apprendimento induttivo, definiti *batch* e *all-in-one*, richiedono che tutte le osservazioni

siano disponibili all'atto dell'apprendimento, imponendo che ogni cambiamento nell'insieme richieda di ripartire da zero nel processo di apprendimento. Per superare le limitazioni, il gruppo di ricerca di Bari ha messo a punto algoritmi in grado di reagire immediatamente a nuove osservazioni e a nuove evidenze, via via che emergono (Esposito et al. 2004). L'inserimento, in un unico paradigma di apprendimento, di una molteplicità di strategie inferenziali (deduzione, abduzione, astrazione) (Esposito et al. 2008) è stato finalizzato alla manutenzione di conoscenza e alla revisione automatica di teorie logiche (Ferilli et al. 2009; Ferilli ed Esposito 2013).

La ricerca del KDD di Pisa si è intanto ampliata a metodi e algoritmi di *data mining* e di *apprendimento automatico* (pattern frequenti, alberi di decisione, *clustering*) (Pedreschi, Ruggieri, e Turini 2008), analisi di dati di mobilità (Giannotti et al. 2011; Pappalardo et al. 2015), analisi delle reti sociali e dei sistemi complessi, *visual analytics* e, più recentemente, a proprietà non-funzionali dei modelli di apprendimento (privacy, non-discriminazione, spiegabilità). Negli ultimi dieci anni, il laboratorio ha rivestito un ruolo pionieristico a livello europeo e internazionale nella definizione della prospettiva della *Human-centered Artificial Intelligence*¹⁷ (Guidotti et al. 2019). Le applicazioni hanno spaziato dalla lotta all'evasione fiscale (Bonchi et al. 1999), al *web caching*¹⁸, al *marketing*, alla modellazione dei comportamenti dei consumatori e dei fenomeni sociali ed economici, al *nowcasting*¹⁹, alle concessioni di credito. A Pisa è anche attivo il gruppo di Alessio Micheli (attuale responsabile del Gruppo AIXIA di Interesse Speciale per l'Apprendimento Automatico) che si occupa di reti neurali e Deep Learning, con particolare enfasi sui nuovi approcci per apprendere in domini strutturati quali sequenze, alberi e grafi. L'interesse del gruppo è anche rivolto alle reti ricorrenti, al *reservoir computing* (ad esempio, Gallicchio, e Micheli 2023) e a modelli probabilistici e basati su kernel per dati non vettoriali. Particolarmente rilevante è stato il contributo pionieristico nel ramo delle reti profonde convolutive e costruttive che operano su grafi (Micheli 2009).

Nel 1998 la Seconda Facoltà di SMFN dell'Università di Torino, con sede in Alessandria, è diventata parte della nuova Università del Piemonte Orientale, dividendo così il gruppo di Machine Learning di Torino. Mentre i membri rimasti all'Università di Torino si sono uniti al gruppo di Rosa Meo, che lavora prevalentemente sul data mining, la parte migrata alla nuova Università si è concentrata sugli algoritmi genetici e sull'astrazione, utilizzata per ridurre la complessità computazionale e aumentare la significatività della conoscenza appresa mediante l'introduzione di concetti di alto livello (Saitta 2003; Saitta e Zucker 2013). Le tecniche introdotte sono state concretamente utili nella costruzione di mappe geografiche (Mustière, Saitta, e Zucker 2000).

Il gruppo Apprendimento Automatico e Data Mining diretto da Rosa Meo al Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino si è ingrandito, negli ultimi anni, includendo diversi docenti e una decina di dottorandi. Tecniche di data mining sono usate in una varietà di applicazioni, con particolare attenzione all'aspetto sociale (ad

17. Intelligenza Artificiale Orientata all'Uomo.

18. Processo di memorizzazione di copie di file in una memoria temporanea, per sveltire l'accesso successivo.

19. Processo che consiste nel predire il valore corrente di variabili osservabili.

esempio, Ferraris et al. 2023). Membri del gruppo lavorano attualmente sulle reti neurali (Botta, Cavagnino, e Esposito 2021) e il gruppo di AA dell'Università di Ferrara – concentratosi, a partire dalla fine degli anni Novanta, sulla programmazione logica induttiva – ha sviluppato diversi sistemi di apprendimento e li ha applicati a svariati domini. Uno di questi è la scoperta di modelli di processi di business, argomento del campo di ricerca del process mining. L'algoritmo ICL, applicato a tracce rappresentate come interpretazioni logiche, è in grado di apprendere modelli dichiarativi di processi di business (Chesani et al. 2009), che risultano essere maggiormente comprensibili agli esseri umani rispetto ai modelli basati sulle reti di Petri.

L'attività nel campo della Programmazione Induttiva Logica Probabilistica (PILP) ha portato a metodi capaci di trattare dati rumorosi e incerti. Sistemi come SLIPCOVER (Bellodi e Riguzzi 2015) e LEMUR (Di Mauro, Bellodi, e Riguzzi 2015), sono in grado di apprendere programmi logici probabilistici, il primo utilizzando la *beam search* e il secondo la Monte Carlo *Tree Search*. La programmazione logica induttiva probabilistica è però costosa in termini di tempo di esecuzione e perciò, recentemente, il gruppo ha proposto approcci come LIFTCOVER (Nguembang e Riguzzi 2019) che apprendono forme semplificate di programmi logici in tempi ridotti.

Sempre in ambito PILP, un'altra direzione di ricerca presso l'Università di Trento ha riguardato l'integrazione della programmazione logica induttiva con i metodi kernel dell'apprendimento statistico, consentendo di trattare domini di dimensioni notevoli e problemi a molte classi con risultati soddisfacenti in termini di efficienza e accuratezza (Landwehr et al. 2010).

Il data mining è oggetto di ricerca all'Università Ca' Foscari di Venezia, dove Claudio Lucchese e i suoi collaboratori hanno investigato, tra l'altro, l'estrazione di regole di associazione e l'uso di reti neurali e alberi di decisione per il *ranking*. Per le regole di associazione è stato proposto un nuovo algoritmo scalabile, per trovare i frequenti *itemset* chiusi che sono una rappresentazione concisa e senza perdite di tutti gli *itemset* frequenti che possono essere estratti da una base di dati transazionale (Lucchese, Orlando, e Perego 2005). Per quanto riguarda il *ranking*, il lavoro offre un confronto tra il *retrieval* neurale e quello basato sulle foreste di alberi di decisione (Bruch, Lucchese, e Nardini 2023).

All'Università di Verona Emanuele Bicego ha adottato diverse tecniche di Machine Learning in una varietà di problemi, partendo con i modelli di Markov per il *clustering* (Bicego, Murino, e Figueiredo 2003) e arrivando alle *Random Forest* (Bicego 2023), sempre per il *clustering*.

Nel periodo in cui dominava l'*ensemble learning*, Roberto Esposito e Lorenza Saitta (2001) hanno dimostrato che questo tipo di apprendimento poteva essere fatto corrispondere all'esecuzione di un algoritmo stocastico e che il *Bagging*, in particolare, poteva essere mappato esattamente su un "Algoritmo Monte Carlo" (Esposito e Saitta 2003, 2004).

Presso l'Università di Milano è attivo e coordinato da Nicolò Cesa-Bianchi il Laboratorio LAILA (Laboratory of Artificial Intelligence and Learning Algorithms) che si occupa del progetto di algoritmi di apprendimento automatico e dello studio dei fondamenti teorici dell'apprendimento computazionale. Partendo dallo studio dell'apprendimento in presenza di rumore (Cavallanti, Cesa-Bianchi, e Gentile

2007, 2011), vengono approfonditi metodi per l'apprendimento on-line (Cesa-Bianchi e Lugosi 2003). Facendo riferimento a una varietà di domini applicativi, come i mercati digitali e la bioinformatica (Cesa-Bianchi e Valentini 2012), vengono sviluppati metodi di apprendimento per rinforzo esplorando metodi Multi-Armed Bandit (MAB) e tecniche di cooperazione e apprendimento distribuito in sistemi multiagente.

Alla Sapienza Università di Roma, l'AA rientra nelle tematiche di ricerca del gruppo Artificial Intelligence del Dipartimento di Informatica, in cui opera Paola Velardi con i suoi collaboratori. L'AA è applicata nell'ambito dell'elaborazione del linguaggio naturale, allo scopo di estrarre tassonomie, ontologie e semantica da un pool di dati scritti in linguaggio naturale, comprese le basi di conoscenza create dall'uomo (e.g., Velardi, Fasolo, e Paziienza 2018).

Un approccio alternativo allo studio della complessità dell'AA è portato avanti da un gruppo di ricercatori dell'Università Bocconi di Milano, che utilizzano un *framework* di fisica statistica. L'obiettivo è mostrare come, nelle reti neurali, vi siano regioni, nel panorama della funzione da ottimizzare, che sono al tempo stesso robuste e accessibili e la cui esistenza è cruciale per ottenere buone prestazioni in problemi di apprendimento particolarmente difficili (Baldassi et al. 2016).

Presso l'Università di Siena, il gruppo di ricerca guidato da Marco Gori ha messo a punto una metodologia di apprendimento sotto vincoli che consente una rappresentazione della conoscenza guidata dall'interazione con l'ambiente. Vengono estesi formalismi classici come kernel e support vector machine per incorporare formalismi logici: stimoli, esempi di apprendimento e logica dei predicati sono espressi in termini di vincoli e il formalismo matematico è basato sul calcolo variazionale (Diligenti et al. 2012).

Il gruppo di ricerca di Firenze, ora guidato da Paolo Frasconi, ha contribuito allo sviluppo di metodi per integrare la programmazione logica induttiva con le support kernel machine. Specifici temi di interesse includono linguaggi dichiarativi e di rappresentazione per l'apprendimento (Donini et al. 2020), apprendimento con rappresentazioni relazionali (Lippi et al. 2011), logiche (Orsini, Frasconi, e De Raedt 2017) e strutturate, metodi kernel (Landwehr et al. 2010; Orsini, Frasconi, e De Raedt 2015) e Deep Learning.

Ancora il Deep Learning è il protagonista di un progetto, portato avanti dal gruppo di ricerca MODAL e guidato da Francesco Piccialli, presso l'Università Federico II di Napoli. Il progetto, in collaborazione con l'INGV²⁰ e l'Università di Salerno, ha lo scopo di creare PreD-NET (Precursor Detection NETwork), un modello di rete profonda per l'identificazione dei precursori di terremoti indotti (Convertito et al. 2024). Presso la stessa università, ricerche sull'AA, teoriche e applicate, sono svolte da Filippo Neri, soprattutto nell'ambito dell'apprendimento co-evolutivo e distribuito (Neri 2022).

Negli anni in esame, l'interesse a trattare dati in forma di stringhe ha infine portato, presso l'Università del Piemonte Orientale, allo sviluppo del sistema EDY, basato su "Catene di Markov Nascoste" (*Hidden Markov Model*) applicate sempre a domini strutturati (Galassi, Giordana, e Saitta 2007).

20. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Presso l'Università di Bari, i ricercatori del LACAM si sono confrontati anche con la struttura sequenziale multidimensionale sottostante le descrizioni logiche, utile per la rappresentazione di domini in cui siano coinvolti oggetti ed eventi, organizzati secondo schemi spazio-temporali (Pio et al. 2020). Sempre nell'ottica di un approccio ibrido, allo scopo di controllare in fase di addestramento l'affidabilità delle descrizioni fornite, la linea di ricerca si è concentrata sulla introduzione, in una teoria logica del prim'ordine, di valori di probabilità o confidenza che caratterizzano ciascun elemento di conoscenza. L'obiettivo dell'apprendimento diventa dunque duplice: è necessario apprendere non solo le teorie, ma anche il grado di confidenza da attribuire a ciascuno dei loro elementi. Si è lavorato con le *Markov Logic Network*, un paradigma che combina la logica del prim'ordine con modelli probabilistici grafici, associando pesi alle formule e sfruttandoli come caratteristiche di Reti di Markov (Biba, Ferilli, ed Esposito 2011). La nota inefficienza di tale paradigma in termini di risorse computazionali ha richiesto di dedicare particolare attenzione anche agli aspetti di efficienza dei sistemi. Tutto ciò ha, in seguito, portato allo studio di Modelli Grafici Probabilistici (*Probabilistic Graphical Model*) e alla loro possibile applicazione al representation learning e al deep learning con l'obiettivo di verificare come modelli strutturati, che determinano le interazioni fra le variabili osservate e non, possano essere appresi e possano automaticamente fornire degli spazi di rappresentazione (*embedding*) per i dati originali. Uno dei punti chiave di tali modelli è la trattabilità dei problemi di apprendimento e inferenza. I circuiti probabilistici rappresentano un recente modello probabilistico *deep* in grado di risolvere diversi compiti in modo trattabile (Vergari, Di Mauro, e Esposito 2015).

Sempre a Bari, presso il LACAM, lo studio originariamente nato come ricerca su "altre logiche", in particolare sulla Logica Descrittiva, si è sviluppato negli anni con una linea di ricerca nell'ambito del Web Semantico (d'Amato, Fanizzi, e Esposito 2010; d'Amato et al. 2010) con l'obiettivo di formalizzare, applicare e dimostrare l'utilità dei metodi di apprendimento automatico (in particolare induttivo) per la risoluzione di problemi aperti in ambito di Ontology Mining. (Esposito, d'Amato, e Fanizzi 2010). L'intento è stato di contribuire in modo sostanziale all'avanzamento dello stato dell'arte per la risoluzione di importanti problemi di ricerca quali *link prediction* ed *instance matching* nel contesto dei Linked Open Data, operando su Knowledge Graph e sviluppando contestualmente metodi in grado di essere estesi a grandi moli di dati (Rizzo et al. 2017; d'Amato 2020).

Parallelamente si sono sviluppate tecnologie semantiche per lo sviluppo di motori di ricerca e *recommender system*, e metodi per l'elaborazione del linguaggio naturale, sempre con l'attenzione all'utilizzo di tecniche di apprendimento automatico finalizzate all'analisi e alla scoperta di profili utente (Lops et al. 2019) e all'integrazione di Linked Open Data (Musto et al. 2017) in ambito *Open Source Intelligence*.

Recentemente sono anche entrati sulla scena dell'AA nuovi attori, come, ad esempio, il CENTAI (Centro di Ricerca sull'Intelligenza Artificiale) a Torino. Gianmarco De Francisci Morales e Albert Bifet (2015) hanno presentato SAMOA, una piattaforma per il mining di dati sequenziali, contenente algoritmi per classificazione, clustering e regressione. Sempre al CENTAI, Giulia Preti, Gianmarco De Francisci Morales

e Matteo Riondato (2024) hanno introdotto un modello innovativo per verificare i risultati ottenuti dall'analisi di un dataset di transazioni osservate.

Al Gran Sasso Science Institute, fondato nel 2012 all'Aquila, Michele Flammini, proveniente dall'Università dell'Aquila, si occupa di teoria dei giochi edonici (con cooperazione), a cui applica il PAC learning (Fioravanti et al. 2023).

All'Università di Genova, continuando nella tradizione del trattamento delle immagini e dei segnali, il tema è stato accoppiato con l'apprendimento profondo; per esempio, una rete generativa avversaria condizionale è stata usata per la "fusione" automatica delle immagini fornite da sensori multipli remoti, che includono un'immagine ottica e una SAR21 (Maggiolo et al. 2022).

L'attività sull'AA dell'ENEA, iniziata negli anni Novanta, è continuata fino ai tempi odierni. Per esempio, all'interno di un progetto per il monitoraggio della qualità dell'aria urbana è stato sviluppato un nuovo algoritmo di machine learning per la calibrazione continua dei sensori (Media-ENEA 2022). Allo stesso modo l'IBM di Roma produce attualmente la piattaforma IBM Machine Learning for z/OS, derivata dal sistema Watson, che integra modelli di machine learning a deep learning per applicazioni aziendali in tempo reale su larga scala.

Al Politecnico di Torino è attualmente attivo il Centro SmartyData@PoliTo, diretto da Elena Baralis. Il centro, formato da esperti con competenze multidisciplinari, ha la missione di estrarre conoscenza utile da grandi quantità di dati, usando machine learning, data mining e tutte le altre tecniche tipiche della Data Science. Per esempio, il Deep Learning è stato usato per ricostruire i parametri atmosferici di esopianeti (Giobergia, Koudounas, e Baralis 2023). Il Centro ha relazioni con altri dipartimenti; per esempio, un sistema di data mining fortemente integrato con una base di dati relazionale è stato progettato in collaborazione con Giuseppe Psaila dell'Università di Bergamo e con Stefano Ceri del Politecnico di Milano.

Anche all'UniCredit di Milano lavora un gruppo "Data & Intelligence", che si occupa, tra gli altri argomenti, di machine learning e data mining (ad esempio, Gullo, Mandaglio, e Tagarelli 2023).

All'Università di Bologna Vittorio Maniezzo si occupa correntemente di metaeuristiche (Boschetti, Letchford, e Maniezzo 2023). All'Università di Cagliari Giuliano Armano studia problemi di AA sia teorici (Armano e Manconi 2023) che applicati.

In conclusione, oggi l'apprendimento automatico è entrato a pieno diritto in molti sistemi industriali, uscendo dai laboratori di ricerca, contribuendo a prodotti e servizi ad accesso diffuso e di utilizzo quotidiano. L'AA ha già rivoluzionato diversi ambiti, dalla finanza alla sanità, dai settori produttivi alle banche e alle assicurazioni ed è destinata a trasformare il modo di vivere e lavorare di tutti. La comunità dei ricercatori italiani è vivace e motivata e, ancora una volta, dimostrerà tutto il suo potenziale.

BIBLIOGRAFIA

- Accame, Marco, e Francesco De Natale. 1995. "Intelligent Visual Sensing System for Autonomos Applications." In *Atti del Workshop su Apprendimento Automatico e Percezione*, 14-15. Ancona.
- Adorni, Giovanni, Stefano Cagnoni, e Monica Mordonini. 1999. "Design Issues for the ART'99 RoboCup Goal-Keeper." In *Atti del Workshop su Apprendimento e Percezione nei Sistemi Robotici*, 23-30. Parma.
- Alviano, Mario, Francesco Bartoli, Marco Botta, Roberto Esposito, Laura Giordano, e Daniele Theiseider-Dupré. 2024. "A preferential interpretation of MultiLayer Perceptrons in a conditional logic with typicality." *Int. J. Approx. Reason.* 164:109065.
- Amari, Shun-Ichi. 1972. "Learning patterns and pattern sequences by self-organizing nets of threshold elements." *IEEE Transactions on Computers* C-21: 1197-1206.
- Angluin, Dana. 1980. "Inductive inference of formal languages from positive data." *Information and Control* 45(2):117-135.
- Apolloni, Bruno, e Diego de Falco. 1991. "Learning by Asymmetric Parallel Boltzmann Machines." *Neural Computation* 3(3): 402-408.
- Appice, Annalisa, Claudia d'Amato, Floriana Esposito, e Donato Malerba. 2006. "Classification of symbolic objects: A lazy learning approach." *Intelligent Data Analysis* 10(4): 301-324.
- Armano, Giuliano, e Andrea Manconi. 2023. "Devising novel performance measures for assessing the behavior of multilayer perceptrons trained on regression tasks." *PLoS ONE* 18(5): e0285471.
- Baldassi, Carlo, Christian Borgs, Jennifer Chayes, Alessandro Ingrosso, Carlo Lucibello, Luca Saglietti, e Riccardo Zecchina. 2016. "Unreasonable effectiveness of learning neural networks: from accessible states and robust ensembles to basic algorithmic schemes." In *Proc. of the USA National Academy of Sciences* 113(48): E7655-E7662.
- Baroglio, Cristina, Marco Botta, e Lorenza Saitta. 1994. "WHY: A System that Learns from a Causal Model and a Set of Examples." In *Machine Learning: A Multistrategy Approach, Vol IV*, a cura di R. Michalski e G. Tecuci, 319-348. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.
- Baroglio, Cristina, Attilio Giordana, Michael Kaiser, Marnix Nuttin, e Roberto Piola. 1996. "Learning Controllers for Industrial Robots." *Machine Learning* 23:221-249.
- Bellodi, Elena, e Fabrizio Riguzzi. 2015. "Structure learning of probabilistic logic programs by searching the clause space." *Theory and Practice of Logic Programming* 15(2):169-212.
- Bengio, Yoshua, Patrice Simard, e Paolo Frasconi. 1994. "Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult." *IEEE Transactions on Neural Networks* 5(2):157-166.
- Bergadano, Francesco, Attilio Giordana, e Lorenza Saitta. 1987. "Integrating EBL and SBL Approaches in Knowledge Base Refinement." In *Methodologies for Intelligent Systems*, a cura di Z. Ras e M. Zemankova, 309-316. Elsevier Publ. Co.
- Bergadano, Francesco, e Attilio Giordana. 1988. "A Knowledge Intensive Approach to Concept Induction." In *Proc. of 5th Intern. Workshop on Machine Learning*, 305-317. Ann Arbor, MI.
- Bergadano, Francesco, Attilio Giordana, e Lorenza Saitta. 1988. "Automated Concept Acquisition in Noisy Environments." *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* PAMI-10:555-578.
- Bergadano, Francesco, Roberto Gemello, Attilio Giordana, e Lorenza Saitta. 1989. "ML-SMART: A Problem Solver for Learning from Examples." *Fundamenta Informatica*, XII:29-50.
- Bergadano, Francesco, Attilio Giordana, e Lorenza Saitta. 1991. *Machine Learning: A General Framework and its Applications*. Chichester, UK: Ellis Horwood.

- Bergadano, Francesco, Vincenzo Cutello, e Daniele Gunetti. 2000. In *Abductive Reasoning and Learning*, a cura di M. Gabbay e R. Kruse, 197-229. Dordrecht: Kluwer Academic Pub.
- Bertoni, Alberto, e Marco Dorigo. 1993. "Implicit Parallelism in Genetic Algorithms." *Artificial Intelligence* 61(2): 307-314.
- Biba, Marenglen, Stefano Ferilli, e Floriana Esposito. 2011. "Boosting learning and inference in Markov Logic through metaheuristics." *Applied Intelligence* 34(2) 279-298.
- Bicego, Manuele, Vittorio Murino, e Mario Figueiredo. 2003. "Similarity-Based Clustering of Sequences Using Hidden Markov Models." In *Proc. of Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*, 86-95. Lipsia, Germania.
- Bicego, Manuele. 2023. "DisRFC: a dissimilarity-based Random Forest Clustering approach." *Pattern Recognition* 133:109036.
- Bini Verona, Francesco, Pietro De Pinto, Francesco Lauria, e Marcello Sette. 1991. "A general purpose neurocomputer." In *Proc. IEEE Intern. Conf. On Neural Networks*, 361-366. Singapore.
- Bisio, Rossella. 1994. "Induzione da esempi nella costruzione di modelli simulabili." In *Atti 5^o Workshop del Gruppo di Interesse Speciale AIxLA sull'Apprendimento Automatico*, 29-32. Parma.
- Bonabeau, Eric, Marco Dorigo, e Guy Theraulaz. 1999. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. New York, NY: Oxford University Press.
- Bonchi, Francesco, Fosca Giannotti, Giovanni Mainetto, e Dino Pedreschi. 1999. "A classification-based methodology for planning audit strategies in fraud detection." In *Proc. ACM SIGKDD*, 175-184. San Diego, CA.
- Boschetti, Marco, Adam Letchford, e Vittorio Maniezzo. 2023. "Matheuristics: Survey and Synthesis." *Intern. Trans. In Operational Research* 22:169-195.
- Botta, Marco, Davide Cavagnino, e Roberto Esposito. 2021. "NeuNAC: A novel fragile watermarking algorithm for integrity protection of neural networks." *Information Sciences* 576:228-241.
- Bratko, Ivan, e Donald Michie. 1987. "Some comments on rule induction." *Knowledge Eng. Rev.* 2(1):65-67.
- Breiman, Leo. 1996. "Bagging Predictors." *Machine Learning* 24:123-140.
- Bruch, Sebastian, Claudio Lucchese, e Franco Maria Nardini. 2023. "Efficient and Effective Tree-Based and Neural Learning to Rank." *Found. and Trends on Information Retrieval* 17(1):1-123.
- Carbonell, Jaime. 1983. "Learning by Analogy: Formulating and Generalizing Plans from Past Experience." In *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, a cura di R.S. Michalski, J.G. Carbonell, e T.M. Mitchell, 137-161. Palo Alto: Tioga.
- Carpineto, Claudio. 1988. "An Approach Based on Integrated Learning to Generating Stories." In *Proc. of 5th Intern. Workshop on Machine Learning*, 298-304. Ann Arbor, MI.
- Carpineto, Claudio, e Giovanni Romano. 1996. "A Lattice Conceptual Clustering Systems and Its Application." *Machine Learning* 24:95-122.
- Cassinis, Riccardo, D. Grana, e Alessandro Rizzi. 1995. "A perception system for mobile robot localization." In *Atti del Workshop su Apprendimento Automatico e Percezione*, 16-22. Ancona.
- Cavallanti, Giovanni, Nicolò Cesa-Bianchi, e Claudio Gentile. 2007. "Tracking the best hyperplane with a simple budget Perceptron." *Machine Learning* 69(2-3):143-167.
- Cavallanti, Giovanni, Nicolò Cesa-Bianchi, e Claudio Gentile. 2011. "Learning noisy linear classifiers via adaptive and selective sampling." *Machine Learning* 83(1):71-102.
- Ceci, Michelangelo, Margherita Berardi, e Donato Malerba. 2007. "Relational Data Mining and ILP for Document Image Understanding." *Appl. Artif. Intell.* 21:317-342.
- Cesa-Bianchi, Nicolò, Matteo Re, e Giorgio Valentini. 2012. "Synergy of multi-label hierarchical ensembles, data fusion, and cost-sensitive methods for gene functional inference." *Machine Learning* 88(1-2):209-241.
- Cesa-Bianchi, Nicolò, e Gábor Lugosi. 2003. "Potential-Based Algorithms in On-Line Prediction and Game Theory." *Machine Learning* 51(3):239-261.
- Chesani, Federico, Evelina Lamma, Paola Mello, Marco Montali, Fabrizio Riguzzi, e Sergio Storari. 2009. "Exploiting inductive logic programming techniques for declarative process mining." In *LNCSTransactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency* 5460:278-295.
- Convertito Vincenzo, Fabio Giampaolo, Ortensia Amoroso, e Francesco Piccialli. 2024. "Deep learning forecasting of large induced earthquakes via precursory signals." *Scientific Reports* 14:2964.
- Cortes, Corinna, e Vladimir Vapnik. 1995. "Support-Vector Networks." *Machine Learning* 20:273-297.
- Dale, Robert. 2021. "GPT-3: What's it good for?" *Natural Language Engineering* 27(1):113-118.
- d'Amato, Claudia, Nicola Fanizzi, e Floriana Esposito. 2010. "Inductive learning for the Semantic Web: What does it buy?" *Semantic Web*, 1-2:53-59.
- d'Amato, Claudia, Steffen Staab, Nicola Fanizzi, e Floriana Esposito. 2010. "D-Link: A Conceptual Clustering Algorithm for Indexing Description Logics Knowledge Bases." *International Journal of Semantic Computing* 4:453-486.
- d'Amato, Claudia. 2020. "Machine Learning for the Semantic Web: Lessons learnt and next research directions." *Semantic Web* 11(1): 195-203.
- De Francisci Morale, Gianmarco, e Albert Bifet. 2015. "SAMOA: Scalable Advanced Massive Online Analysis." *J. of Machine Learning Research* 16:149-153.
- De Jong, Kenneth. 1980. "Adaptive system design: A genetic approach." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 10:556-57-1.
- De Mori, Renato, e Lorenza Saitta. 1980. "Automatic learning of fuzzy naming relations over finite languages." *Information Science* 21:93-139.
- De Raedt, Luc. 2008. *Logical and Relational Learning*. Heidelberg: Springer.
- Devroye, Luc. 1982. "Any discrimination rule can have an arbitrarily bad probability of error for finite sample size." *IEEE Transactions on PAMI* 4:154-157.
- Diligenti, Michelangelo, Marco Gori, Marco Maggini, e Leonardo Rigutini. 2012. "Bridging logic and kernel machines." *Machine Learning* 86(1):57-88.
- Di Mauro, Nicola, Elena Bellodi, e Fabrizio Riguzzi. 2015. "Bandit-based Monte-Carlo structure learning of probabilistic logic programs." *Machine Learning* 100(1):127-156.
- Domingos, Pedro, e Daniel Lowd. 2019. "Unifying logical and statistical AI with Markov logic." *Communications of the ACM* 62(7):74-83.
- Domingos, Pedro, e Matt Richardson. 2006. "Markov Logic Networks." *Machine Learning* 62:107-136.
- Donini, Michele, Luca Franceschi, Orchid Majumder, Massimiliano Pontil, e Paolo Frasconi. 2020. "Marthe: Scheduling the Learning Rate Via Online Hypergradients." In *Proc IJCAI*, 2119-2125. Yokohama, Giappone.
- Dorigo, Marco. 1995. "ALECSYS and the AutoNoMouse: Learning to Control a Real Robot by Distributed Classifiers Systems." *Machine Learning* 19:209-240.
- Dorigo, Marco, e Thomas Stützle. 2004. *Ant Colony Optimization*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Esposito, Floriana, Donato Malerba, e Giovanni Semeraro. 1991. "Flexible Matching for Noisy Structural Descriptions." In *Proc. of the IJCAI*, 658-664. Sydney, Australia.
- Esposito, Floriana, Donato Malerba, e Giovanni Semeraro. 1992. "Classification in Noisy Environments Using a Distance Measure Between Structural Symbolic Descriptions." *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 14(3): 390-402.
- Esposito, Floriana, Donato Malerba, e Giovanni Semeraro. 1997a. "Discovering Causal Rules in Relational Databases." *Appl. Artif. Intell.* 11(1): 71-84.

- Esposito, Floriana, Donato Malerba, e Giovanni Semeraro. 1997b. "A Comparative Analysis of Methods for Pruning Decision Trees." *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 19(5): 476-491.
- Esposito, Floriana, Ryszard Michalski, e Lorenza Saitta. 1998. *Multistrategy Learning*. Fairfax, WV: GMU Press.
- Esposito, Floriana, Giovanni Semeraro, Nicola Fanizzi, e Stefano Ferilli. 2000. "Multistrategy Theory Revision: Induction and Abduction in INTHELEX." *Machine Learning* 38(1-2):133-156.
- Esposito, Floriana, Donato Malerba, e Vittorio Marengo. 2001a. "Inductive learning from numerical and symbolic data: An integrated framework." *Intelligent Data Analysis* 5(6): 445-461.
- Esposito, Floriana, Nicola Fanizzi, Stefano Ferilli, e Giovanni Semeraro. 2001b. "A Generalization Model Based on OI-implication for Ideal Theory Refinement." *Fundamenta Informaticae* 47(1-2): 15-33.
- Esposito, Floriana, Stefano Ferilli, Nicola Fanizzi, Teresa M.A. Basile, e Nicola Di Mauro. 2004. "Incremental learning and concept drift in INTHELEX." *Intell. Data Anal.* 8(3):213-237.
- Esposito, Floriana, Nicola Di Mauro, Teresa M.A. Basile, e Stefano Ferilli. 2008. "Multi-Dimensional Relational Sequence Mining." *Fundamenta Informaticae* 89(1):23-43.
- Esposito, Floriana, Claudia d'Amato, e Nicola Fanizzi. 2010. "Fuzzy Clustering for Semantic Knowledge Bases." *Fundamenta Informaticae* 9(2):187-205.
- Esposito, Roberto, e Lorenza Saitta. 2001. "Boosting as a Monte Carlo Algorithm." *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 2175:11-19.
- Esposito, Roberto, e Lorenza Saitta. 2004. "A Monte Carlo Analysis of Ensemble Learning." In *Proc. 21st Int. Conf. on Machine Learning*, 265-272. Banff, CA.
- Esposito, Roberto, e Lorenza Saitta. 2003. "Monte Carlo Theory as an Explanation of Bagging and Boosting." In *Proc. of 18th Int. Joint Conference on Artificial Intelligence*, 499-504. Acapulco, Mexico.
- Ferilli, Stefano, Teresa M.A. Basile, Marenglen Biba, Nicola Di Mauro, e Floriana Esposito. 2009. "A General Similarity Framework for Horn Clause Logic." *Fundamenta Informaticae* 90(1-2):43-66.
- Ferilli, Stefano, e Floriana Esposito. 2013. "A Logic Framework for Incremental Learning of Process Models." *Fundamenta Informaticae* 128(4):413-443.
- Ferraris, Stefano, Rosa Meo, Stefano Pinardi, Matteo Salis, e Gabriele Sartor. 2023. "Machine Learning as a Strategic Tool for Helping Cocoa Farmers in Côte D'Ivoire." *Sensors* 23(17):7632.
- Fioravanti, Simone, Michele Flammini, Bojana Kodric, e Giovanna Varricchio. 2023. "PAC Learning and Stabilizing Hedonic Games: Towards a Unifying Approach." In *Proc. of the AAAI*, 5641-5648. Washington, DC.
- Flach, Peter, e Antonio Kakas. 2000. *Abduction and Induction*. Dordrecht: Springer.
- Frasconi, Paolo, Marco Gori, Marco Maggini, e Giovanni Soda. 1996. "Representation of Finite State Automata in Recurrent Radial Basis Function Networks." *Machine Learning* 23(1):5-32.
- Frasconi, Paolo, Marco Gori, e Alessandro Sperduti. 1997. "On the Efficient Classification of Data Structures by Neural Networks." In *Proc. of IJCAI*, 1066-1071. Nagoya, Giappone.
- Frege, Gottlob. 1892. "Über Sinn und Bedeutung." *Zeitschrift für Philosophie und Philosophische Kritik*, 100:25-50.
- Freund, Yoav, e Robert Schapire. 1997. "A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting." *Journal of Computer and System Sciences* 55:119-139.
- Fu, King-Sun, e Taylor L. Booth. 1975. "Grammatical Inference: Introduction and Survey - Part I." *IEEE Trans. Syst. Man Cybernetics* 5(1):95-111.
- Fukushima, Kunihiko. 1975. "Cognitron: A self-organizing multilayered neural network." *Biological Cybernetics* 20(3):121-136.
- Fukushima, Kunihiko. 1980. "Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model for a Mechanism of Pattern Recognition Unaffected by Shift in Position." *Biological Cybernetics* 36:193-202.
- Galassi, Ugo, Attilio Giordana, e Lorenza Saitta. 2007. "Structured Hidden Markov Model: A General Framework for Modeling Complex Sequences." *Lecture Notes in Computer Science* 4733:290-301.
- Gallicchio, Claudio, e Alessio Micheli. 2023. "Architectural richness in deep reservoir computing." *Neural Comput. Appl.* 35(34):24525-24542.
- Garcez, Artur d'Avila, e Luis Lamb. 2023. "Neurosymbolic AI: The 3rd Wave." *Artificial Intelligence Review* 56(11):1-20.
- Gemello, Roberto, Franco Mana, e Lorenza Saitta. 1991. "Rigel: An Inductive Learning System." *Machine Learning* 6:7-35.
- Getoor, Lisa, e Ben Taskar. 2007. *Introduction to Statistical Relational Learning*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Giannotti, Fosca, Giuseppe Manco, Dino Pedreschi, e Franco Turini. 1999. "Experiences with a Logic-based knowledge discovery Support Environment." In *Proc. ACM SIGMOD Workshop on Research Issues in Data Mining and Knowledge Discovery*, 202-213.
- Giannotti, Fosca, Mirco Nanni, Dino Pedreschi, Fabio Pinelli, Chiara Renso, Salvatore Rinzivillo, e Roberto Trasarti. 2011. "Unveiling the complexity of human mobility by querying and mining massive trajectory data." *VLDB Journal* 20(5):695-719.
- Giobergia, Flavio, Alkis Koudounas, e Elena Baralis. 2023. "Reconstructing Atmospheric Parameters of Exoplanets Using Deep Learning." In *Proc. IEEE Inter. Conf. AICT. Baku (Aze)*.
- Giordana, Attilio, e Lorenza Saitta. 1985. "An expert system oriented to complex pattern recognition problems." *Information Science* 36:157-177.
- Giordana, Attilio, e Lorenza Saitta. 1990. "Abstraction: A General Framework for Learning." In *Proc. of AAAI Workshop on Automatic Generation of Approximations and Abstractions*, 245-256. Boston, MA.
- Giordana, Attilio, e Claudio Sale. 1992. "Learning Structured Concepts Using Genetic Algorithms." In *Proc. of ICML*, 169-178. Aberdeen, Scotland.
- Giordana, Attilio, Lorenza Saitta, Francesco Bergadano, Filippo Brancadori, e Davide De Marchi. 1993. "ENIGMA: A System that Learns Diagnostic Knowledge." *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* KDE-5:15-28.
- Giordana Attilio, e Lorenza Saitta. 1994. "Learning Disjunctive Concepts by Means of Genetic Algorithms." In *Proc. Int. Conf. on Machine Learning*, 96-104. New Brunswick, NJ.
- Giordana, Attilio, Filippo Neri, Lorenza Saitta, e Marco Botta. 1997. "Integrating Multiple Learning Strategies in First Order Logics." *Machine Learning* 27:209-240.
- Giordana, Attilio, e Lorenza Saitta. 2000. "Phase Transition in Relational Learning." *Machine Learning* 41:217-251.
- Gold, Mark. 1967. "Language Identification in the Limit." *Information and Control* 10:447-474.
- Goldberg, David. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Boston, MA: Addison Wesley Publishing.
- Goodfellow, Ian, Jean Pouget-Abadie, Mehdi Mirza, Bing Xu, David Warde-Farley, Sherjil Ozair, Aaron Courville, e Yoshua Bengio. 2020. "Generative Adversarial Networks." *Communications of the ACM* 63(11):139-144.
- Gori, Marco, Andreas Küchler, e Alessandro Sperduti. 1999. "On the implementation of frontier-root tree automata in recursive neural networks." *IEEE Trans. Neural Networks* 10(6):1305-1314.
- Guidotti, Riccardo, Anna Monreale, Salvatore Ruggieri, Franco Turini, Fosca Giannotti, e Dino Pedreschi. 2019. "A Survey of Methods for Explaining Black Box Models." *ACM Comput. Surv.* 51(5):1-42.
- Gullo, Francesco, Domenico Mandaglio, e Andrea Tagarelli. 2023. "A Combinatorial Multi-Armed Bandit Approach to Correlation Clustering." *Data Mining and Knowledge Discovery* 37(4):1630-1691.

- Hebb, Donald. 1949. *The Organization of Behavior*. New York: John Wiley & Son.
- Hinton, Geoffrey, Simon Osindero, e Yee-Whye Teh. 2006. "A fast learning algorithm for deep belief nets." *Neural Computing* 18(7):1527-54.
- Hochreiter, Sepp, e Jürgen Schmidhuber. 1997. "Long Short-Term Memory." *Neural Computation* 9(8): 1735-80.
- Holland, John. 1975. *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, MI: Univ. of Michigan Press.
- Homma, Toshiteru, Les Atlas, e Robert Marks II. 1988. "An Artificial Neural Network for Spatio-Temporal Bipolar Patterns: Application to Phoneme Classification." *Advances in Neural Information Processing Systems* 1:31-40.
- Hopfield, John. 1982. "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities." *Proc. Natl. Acad. Sci.* 79(8):2554-2558.
- Hubel, David, e Torsten Wiesel. 1968. "Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex." *J. of Physiology* 195(1):215-43.
- Hull, Carl. 1943. *Principles of Behavior*. New York: Appleton-Century.
- Hume, David. 1739. *A Treatise of Human Nature*. London: John Noon.
- Ising, Ernst (1925), "Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus." *Z. Phys.* 31(1):253-258.
- Joachims, Thorsten. 1998. "Making Large-Scale SVM Learning Practical." In *Advances in Kernel Methods - Support Vector Learning*, a cura di B. Schölkopf, e J. Christopher. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kaddour, Jean, Aengus Lynch, Qi Liu, Matt Kusner, e Ricardo Silva. 2022. "Causal Machine Learning: A Survey and Open Problems." <https://arxiv.org/abs/2206.15475>
- Kakas, Antonio, e Fabrizio Riguzzi, 1997. "Learning with Abduction." In *Proc. ILP*, 181-188. Praga, Cecoslovacchia.
- Koza, John. 1992. *Genetic Programming*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kulp, Patrick. 2019. "Samsung's AI Lab Can Create Fake Video Footage from a Single Headshot." *AdWeek*, 23 maggio 2019.
- Landwehr, Niels, Andrea Passerini, Luc De Raedt, e Paolo Frasconi. 2010. "Fast learning of relational kernels." *Machine Learning* 78(3):305-342.
- Langley, Pat. 1986. "Editorial: On Machine Learning." *Machine Learning* 1:5-10.
- LeCun, Yann, et al. 1989. "Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition." *Neural Computation* 1:541-551.
- Lenz, Wilhelm. 1920. "Beiträge zum Verständnis der magnetischen Eigenschaften in festen Körpern." *Physikalische Zeitschrift* 21:613-615.
- Leonardi, Giorgio, Stefania Montani, e Manuele Striani. 2022. "Novel deep learning architectures for haemodialysis time series classification." *Int. J. Knowl. Based Intell. Eng. Syst.* 26(2):91-99.
- Lesmo, Leonardo, Lorenza Saitta, e Pietro Torasso, 1982. "Learning of Fuzzy Production Rules in Medical Diagnosis." In *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, a cura di M. Gupta e E. Sanchez, 249-260. Amsterdam: North-Holland Publ. Co.
- Lippi, Marco, Manfred Jaeger, Paolo Frasconi, e Andrea Passerini. 2011. "Relational information gain." *Machine Learning* 83(2):219-239.
- Lisi, Francesca Alessandra, e Donato Malerba. 2004. "Inducing Multi-Level Association Rules from Multiple Relations." *Machine Learning* 55(2):175-210.
- Loisel, Régine, e Yves Kodratoff. 1981. "Learning (Complex) Structural Descriptions from Examples." In *Proc. IJCAI*, 141-143. Vancouver, Canada.
- Lops, Pasquale, Cataldo Musto, Fedelucio Narducci, e Giovanni Semeraro. 2019. *Semantics in Adaptive and Personalised Systems - Methods, Tools and Applications*, 1-186. New York: Springer.
- Lucchese, Claudio, Salvatore Orlando, e Raffaele Perego. 2005. "Fast and memory efficient mining of frequent closed itemsets." *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering* 18(1):21-36
- Mach, Ernst. 1886. *Beiträge zur Analyse der Empfindungen*. Jena: Gustav Fischer.
- Maggiolo, Luca, David Solarna, Gabriele Moser, e Sebastiano Serpico. 2022. "Registration of Multisensor Images through a Conditional Generative Adversarial Network and a Correlation-Type Similarity Measure." *Remote Sensing* 14(12):2811.
- Malerba, Donato, Floriana Esposito, Michelangelo Ceci, e Annalisa Appice. 2004. "Top-Down Induction of Model Trees with Regression and Splitting Nodes." *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 26(5):612-625.
- Malerba, Donato. 2003. "Learning Recursive Theories in the Normal ILP Setting." *Fundam. Informaticae* 57(1):39-77.
- McCulloch, Warren, e Walter Pitts. 1943. "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity." *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5:115-133.
- Media-ENEA. 2022. "Environment: New urban air quality high-resolution monitoring." 24 Novembre 2022.
- Michalski, Ryszard. 1973. "Discovering Classification Rules Using Variable Valued Logic System VL1." In *Proc. of the Third Intern. Joint Conference on Artificial Intelligence*, 162-172, Stanford, CA.
- Michalski, Ryszard. 1983. "A theory and methodology of inductive learning." *Artificial Intelligence* 20(2):111-161.
- Micheli, Alessio. 2009. "Neural Network for Graphs: A Contextual Constructive Approach." *IEEE Transactions on Neural Networks* 20(3):498-511.
- Ming, Liu, Wang Yujun, Wang Jin, Wang Jing, e Xie Xiang. 2018. "Speech Enhancement Method Based on LSTM Neural Network for Speech Recognition." In *Proc. of the 14th IEEE International Conference on Signal Processing*, 245-249.
- Minsky, Marvin, e Seymour Papert. 1969. *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Mitchell, Tom. 1997. *Machine Learning*. New York: McGraw Hill.
- Mitchell, Tom. 1982. "Generalization as Search." *Artificial Intelligence* 18(2):203-226.
- Mitchell, Tom, Richard Keller, e Smadar Kedar-Cabelli. 1986. "Explanation-Based Generalization: A Unifying View." *Machine Learning* 1:47-80.
- Muggleton, Stephen. 1992. *Inductive Logic Programming*. San Francisco, CA: Morgan Kaufman.
- Mustière, Sébastien, Lorenza Saitta, e Jean-Daniel Zucker. 2000. "Abstraction in Cartographic Generalization." *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 1932:638-644.
- Musto, Cataldo, Pierpaolo Basile, Pasquale Lops, Marco de Gemmis, e Giovanni Semeraro. 2017. "Introducing linked open data in graph-based recommender systems." *Information Processing and Management* 53(2):405-435.
- Navarin, Nicolò, Dinh Van Tran, e Alessandro Sperduti. 2020. "Learning Kernel-Based Embeddings in Graph Neural Networks." In *Proc. of ECAI*, 1387-1394. Santiago de Compostela, Spagna.
- Navarin, Nicolò, Matteo Cambiaso, Andrea Burattin, Fabrizio Maria Maggi, Luca Oneto, e Alessandro Sperduti. 2020. "Towards Online Discovery of Data-Aware Declarative Process Models from Event Streams." In *Proc. of Int. Joint Conf. on Neural Networks*, 1-8. Glasgow. UK.
- Neri, Filippo. 1993. "Order Effect in Incremental Learning." In *Atti 4° Workshop del Gruppo di Interesse Speciale AIxIA sull'Apprendimento Automatico*, 1-29. Milano.
- Neri, Filippo, e Lorenza Saitta. 1996. "Genetic Algorithms for Pattern Recognition." *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-18:1135-1142.
- Neri, Filippo, Lorenza Saitta, e Andrée Tiberghien. 1997. "Modelling Physical Knowledge Acquisition in Children with Machine Learning." In *Proc. of 19th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 566-571. Stanford, CA.

- Neri, Filippo, Lorenza Saitta, e Andrée Tiberghien. 1999. "Modelling Conceptual Change with a Machine Learning System." *Modelling Changes in Understanding: Case Studies in Physical Reasoning*, a cura di D. Kaiser e S. Vosniadou. Oxford: Elsevier.
- Neri, Filippo. 2022. "Coevolution and learning symbolic concepts: statistical validation: Empirical statistical validation of co-evolutive machine learning systems." In *Proc. ICMLT*, 244-248. Roma.
- Nguembang Fadja, Arnaud, e Fabrizio Riguzzi. 2019. "Lifted discriminative learning of probabilistic logic programs." *Machine Learning* 108(7):1111-1135.
- Ockam of, William. 1495. *Quaestiones et decisiones in quattuor libros Sententiarum Petri Lombardi*. Nurnberg: Johannes Trechsel.
- Orsini, Francesco, Paolo Frasconi, e Luc De Raedt. 2015. "Graph Invariant Kernels." In *Proc. IJCAI*, 3756-3762.
- Orsini, Francesco, Paolo Frasconi, e Luc De Raedt. 2017. "k-ProbLog: an algebraic Prolog for machine learning." *Machine Learning* 106(12):1933-1969.
- Pappalardo, Luca, Filippo Simini, Salvatore Rinzivillo, Dino Pedreschi, Fosca Giannotti, e Albert-László Barabási. 2015. "Returners and explorers dichotomy in human mobility." *Nature Communications* 6:8166.
- Pasa, Luca, Nicolò Navarin, e Alessandro Sperduti. 2022. "Polynomial-based graph convolutional neural networks for graph classification." *Machine Learning* 111(4):1205-1237.
- Pavlov, Ivan. 1927. *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. Tradotto a cura di G.V. Anrep. London: Oxford University Press.
- Payedimarri, Anil, Diego Concina, Luigi Portinale, Massimo Canonico, Deborah Seys, Kris Vanhaecht, e Massimiliano Panella. 2021. "Prediction models for public health containment measures on COVID-19 using Artificial Intelligence and Machine Learning: A systematic review." *Int. J. Environmental Research and Public Health* 18(9):4499.
- Pedreschi, Dino, Salvatore Ruggieri, e Franco Turini. 2008. "Discrimination-aware data mining." In *Proc. ACM SIGKDD*, 560-568. Las Vegas, NV.
- Piaget, Jean. 2000. *L'epistemologia genetica*. Bari: Laterza.
- Pio, Gianvito, Michelangelo Ceci, Francesca Prisciandaro, e Donato Malerba. 2020. "Exploiting causality in gene network reconstruction based on graph embedding." *Machine Learning* 109(6):1231-1279.
- Plotkin, Gordon. 1970. "A Note on Inductive Generalization." In *Machine Intelligence 5*, a cura di B. Meltzer e D. Michie, 153-163. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Prabakaran, N., A. Kannadasan, A. Krishnamoorthy, e Vijay Kakani. 2023. "A Bidirectional LSTM approach for written script auto evaluation using keywords-based pattern matching." *Natural Language Processing Journal* 5:100033.
- Preti, Giulia, Gianmarco De Francisci Morales, e Matteo Riondato. 2024. "ALICE and the Caterpillar: A More Descriptive Null Model for Assessing Data Mining Results." *Knowledge and Information Systems* 66:1917-1954.
- Quinlan, Ross. 1990. "Learning Logical Definitions from Relations." *Machine Learning* 5:239-266.
- Rizzo, Giuseppe, Claudia d'Amato, Nicola Fanizzi, e Floriana Esposito. 2017. "Tree-based models for inductive classification on the Web OData." *Journal of Web Semantics* 45:1-22.
- Rumelhart, David, e James McClelland. 1987. *Parallel Distributed Processing*. Cambridge: MIT Press.
- Saitta, Lorenza, Marco Botta, e Filippo Neri. 1993. "Multistrategy Learning and Theory Revision." *Machine Learning* 11:153-172.
- Saitta, Lorenza. 2003. Special Issue of the *Philosophical Transactions of the Royal Society*. London, UK: Royal Society Press.
- Saitta, Lorenza, Attilio Giordana, e Antoine Cornuéjols. 2011. *Phase Transition in Machine Learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Saitta, Lorenza, e Jean-Daniel Zucker. 2013. *Abstraction in Artificial Intelligence and Complex Systems*. New York, NY: Springer.
- Sammur, Claude. 1993. "The Origins of Inductive Logic Programming: A Prehistoric Tale." In *Proc. of the Third Intern. Workshop on Inductive Logic Programming*, 127-147, Bled, Slovenia.
- Samuel, Arthur. 1959. "Some studies in machine learning using the game of checkers." *IBM Journal of Research and Development* 3(3): 211-229.
- Schmidhuber, Jürgen. 2011. "DanNet triggers deep CNN revolution."
- Semeraro, Giovanni, Floriana Esposito, Donato Malerba, Nicola Fanizzi, e Stefano Ferilli. 1997. "Machine learning + on-line libraries = IDL." *Lecture Notes in Computer Science* 1324:195-214. Berlin: Springer.
- Shapire, Robert. 1990. "The Strength of Weak Learnability." *Machine Learning* 5(2):197-227.
- Solomonoff, Ray. 1964. "A formal theory of inductive inference." *Information and Control* 7:1-254.
- Sperduti, Alessandro, e Antonina Starita. 1993. "Speed up learning and network optimization with extended back propagation." *Neural networks* 6(3):365-383.
- Sperduti Alessandro, e Antonina Starita. 1997. "Supervised neural networks for the classification of structures." *IEEE Transactions on Neural Networks* 8(3):714-735.
- Sutton, Richard, e Andrew Barto. 2018. *Reinforcement Learning: An Introduction*. Cambridge: MIT Press.
- Valiant, Leslie. 1984. "A Theory of the Learnable." *Communications of the ACM* 27(11):1134-1142.
- Valiant, Leslie. 1993. "View of Computational Learning Theory." In *Foundations of Knowledge Acquisition*, a cura di A. Mayrowitz e S. Chipman, 263-289. San Francisco: Kluwer Acad. Pub.
- Vaswani, Ashish, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Lion Jones, Aidan Gomez, e Lukasz Kaiser. 2017. "Attention is All You Need." In *Proc. 31st Conf. on Neural Inform. Process. Systems*, 5998-6008. Long Beach, CA.
- Velardi, Paola, Michela Fasolo, e Maria Teresa Pazienza. 2018. "How to Encode Semantic Knowledge: A Method for Meaning Representation and Computer-Aided Acquisition." *Computational Linguistics* 17:153-170.
- Vere, Steven. 1980. "Multilevel Counterfactuals for Generalizations of Relational Concepts and Productions." *Artificial Intelligence* 14(2):139-164.
- Vergari, Antonio, Nicola Di Mauro, e Floriana Esposito. 2019. "Visualizing and understanding Sum-Product Networks." *Machine Learning* 108(4):551-573.
- Werbos, Paul. 1994. *The Roots of Backpropagation: From Ordered Derivatives to Neural Networks and Political Forecasting*. New York, NY: John Wiley & Son.
- Winston, Patrick. 1970. "Learning structural descriptions from examples." *Tesi di Dottorato*, MIT, Dept. of Electrical Engineering.
- Wolpert, David. 2002. "The supervised learning no-free-lunch theorems." In *Soft computing and industry: Recent applications*, a cura di Rajkumar Roy, Mario Köppen, Seppo Ovaska, Takeshi Furuhashi, e Frank Hoffmann, 25-42. New York: Vintage.
- Wolpert, David. 1992. "Stacked generalization." *Neural Networks* 5(2):241-259.
- Zadeh, Lofti. 1965. "Fuzzy Sets." *Information and Control* 8(3):338-353.

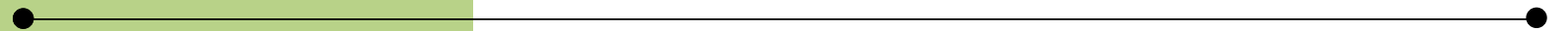
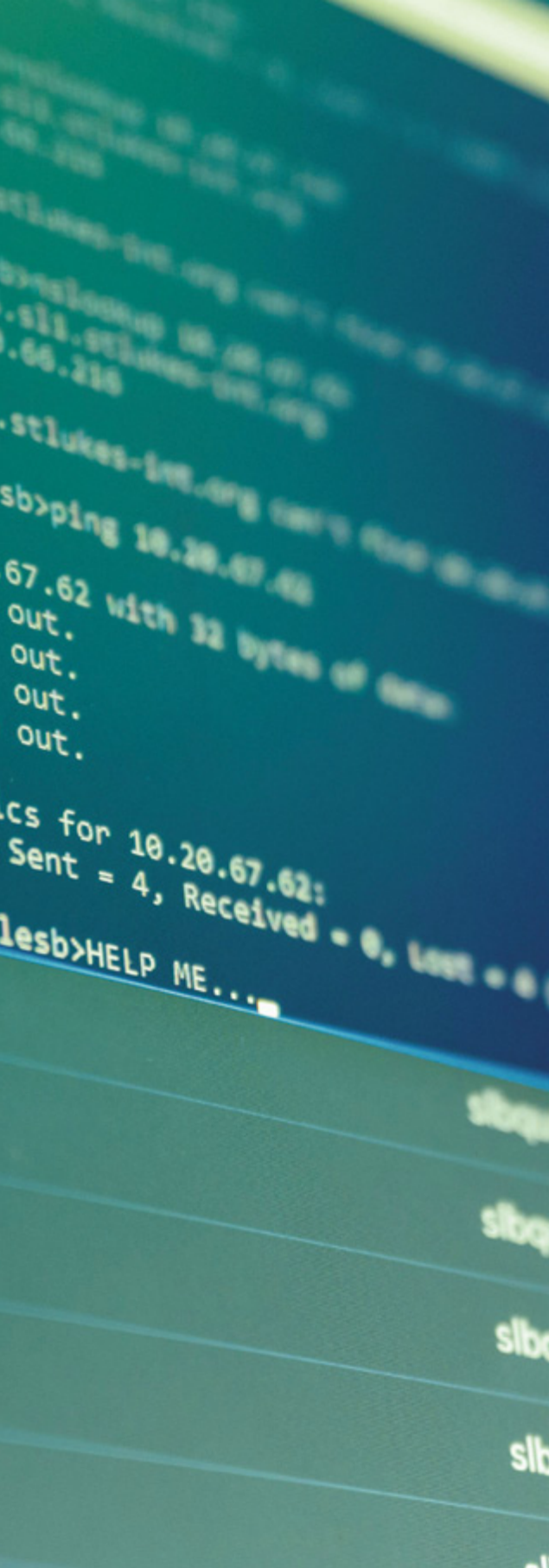
<https://doi.org/10.36173/SII-partepriima-vol3-31>

32

**Informatica
e società**

Paolo Ciancarini

**Il ruolo di AICA
nella ricerca informatica**



Sommario

L'Associazione Italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico (AICA) nacque nel 1961 da un'idea del matematico Mauro Picone e di altri accademici. Nei suoi oltre 60 anni di vita l'associazione ha svolto un ruolo di rilievo nel mondo informatico nazionale e internazionale. Le distinte comunità della ricerca accademica, della formazione, dei professionisti e dei fornitori di servizi informatici hanno trovato in AICA sia una casa comune sia un luogo di dialogo, confronto e condivisione di progetti.

In questo articolo illustriamo la nascita dell'AICA come espressione del mondo della ricerca matematica e ingegneristica e il suo successivo sviluppo in relazione all'evoluzione della cultura informatica. L'associazione crebbe grazie ai gruppi di lavoro costituiti dai ricercatori e dai professionisti, ai convegni, alle riviste scientifiche e alle relazioni con altre associazioni internazionali quali l'International Federation for Information Processing (IFIP), l'Association for Computing Machinery (ACM) e l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). I punti salienti del rapporto tra AICA e la ricerca informatica sono ricostruiti utilizzando una serie di fonti che sono elencate nella bibliografia in calce all'articolo.

Introduzione

La Seconda guerra mondiale si concluse con l'uso dell'arma atomica in Giappone. Questo fatto dimostrò l'importanza della ricerca scientifica applicata in ambito militare. In Europa la guerra era già terminata, ma solo pochi erano a conoscenza del ruolo fondamentale avuto dalla crittografia e dalle prime macchine calcolatrici automatiche create da Turing e dai suoi colleghi nel determinare la vittoria finale degli alleati. Il dopoguerra vide una grande espansione negli studi sul calcolo automatico, sia in supporto agli studi in Fisica nucleare sia, più in generale, nell'ambito che oggi definiamo delle applicazioni informatiche.

Una figura chiave per comprendere come e perché nacque AICA è quella di Mauro Picone, ordinario di Calcolo Infinitesimale dell'Università di Napoli. Picone durante la Prima guerra mondiale era stato artigliere e si era reso conto dell'importanza delle applicazioni del calcolo e di come le macchine calcolatrici fossero essenziali per le attività correlate alle operazioni militari.

Nel 1932, fondò, a Roma, l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo (INAC) presso il Consiglio nazionale delle ricerche, si trasferì all'Università di Roma La Sapienza e diresse l'INAC fino al 1960.

Picone riuscì a raccogliere presso l'INAC molti dei più promettenti giovani che si interessavano di Calcolo Automatico, tra cui Corrado Böhm, Paolo Ercoli, e Giorgio Sacerdoti. Grazie agli sforzi di Picone e dei suoi colleghi l'istituto si dotò, già nel 1954, di un calcolatore elettronico di marca Ferranti. La combinazione dei nomi Ferranti e INAC battezzò a nome FINAC il calcolatore, che venne inaugurato alla presenza del Presidente della Repubblica, Giovanni Gronchi. Fu su impulso di Mauro Picone e del suo successore alla direzione dell'INAC, Aldo Ghizzetti, che tra la fine del 1960 e l'inizio del 1961 si costituì a Roma, l'Associazione Italiana di Calcolo Automatico.

Riguardo al nome originario dell'associazione, centrato sul calcolo automatico, ricordiamo che all'epoca esisteva una pluralità di denominazioni per l'ambito che oggi conosciamo come "informatica". Norbert Wiener aveva pubblicato, nel 1948, il libro *Cybernetics*, dedicato agli automi visti come modelli di sistemi naturali o artificiali. Una definizione alternativa rispetto a "cibernetica" è la multidisciplinare *information processing*, che venne usata dall'UNESCO nel 1959 per lanciare l'idea di una federazione internazionale di associazioni nazionali, che oggi conosciamo come IFIP. Poco dopo, in un articolo di Louis Fein del 1959 su *Communications of the Association for Computing Machinery (CACM)*¹, venne introdotto il termine *Computer Science*.

La parola "informatica" nasce in Francia nel 1962, e in Italia viene importata solo a partire dal 1968. Per altro, nel 1969, il primo corso di studi universitario italiano in ambito informatico prende il nome di Laurea in Scienze dell'informazione. I primi corsi di studio in Ingegneria informatica iniziano circa 20 anni dopo.

La transizione dal calcolo automatico al più ampio concetto di informatica riflette la graduale evoluzione ed espansione della disciplina, nel corso del tempo, nel campo delle Scienze dell'informazione. All'inizio, il calcolo automatico definiva principalmente la fase di automazione del processo di calcolo numerico, spesso associato alle prime macchine che svolgevano compiti di elaborazione numerica mentre l'Informatica ha abbracciato un ambito più ampio, includendo anche la gestione dell'informazione in generale.

Riconoscendo tale l'evoluzione tecnologica e terminologica l'associazione nel 1983 fu ridenominata Associazione Italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico, ma mantenne l'acronimo AICA.

In questo articolo forniamo una panoramica generale del ruolo svolto da AICA nella ricerca scientifica. Illustreremo come l'associazione, che ebbe origine da un gruppo di pionieri nel campo del calcolo automatico, successivamente crebbe e prosperò grazie al contributo dei ricercatori di diverse generazioni e all'apporto di professionisti provenienti da importanti aziende informatiche.

La struttura di questo articolo si articola come segue:

- nella prossima sezione forniremo una panoramica del contesto iniziale di AICA, descrivendo le azioni messe in pratica dai fondatori con riferimento particolare alla loro affiliazione accademica;
- nella terza sezione esploreremo l'evoluzione delle relazioni internazionali di AICA nel corso del tempo;
- la quarta sezione sarà dedicata a descrivere l'operato dell'associazione nel campo della ricerca, ricordando le principali attività associative che hanno contribuito al suo impegno scientifico;
- nella quinta sezione esamineremo le iniziative dedicate alla scuola e all'università, con particolare attenzione a quelle più recenti;
- Infine, nella sezione conclusiva, riepilogheremo le tematiche trattate e divideremo le nostre prospettive e auspici per il futuro di AICA.

1. Fein, Louis. 1959. "The Role of the University in Computers Data Processing and Related Fields." *CACM*, vol. 2, pp. 7-14.

La nascita dell'associazionismo in campo informatico

Poco dopo il termine della Seconda guerra mondiale, un gruppo di scienziati e pionieri nel campo del calcolo automatico sentì la necessità di formare un'associazione aperta a tutti coloro che erano interessati alle macchine di calcolo. Negli Stati Uniti, nel 1947, nacque dunque l'Association for Computing Machinery (ACM), fondata da otto accademici e professionisti che avevano lavorato con macchine automatiche durante la guerra.

In Gran Bretagna la British Computer Society mosse i primi passi nel 1956 e formalizzò il suo statuto nel 1957; fondatore e primo presidente fu Maurice Wilkes, inventore della microprogrammazione e professore all'Università di Cambridge.

L'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) nacque successivamente, nel 1963, dalla fusione di American Institute of Electrical Engineers AIEE e Institute of Radio Engineers IRE.

In Francia la Association Française pour la Cybernetique Economique et Technique (AFCET) ebbe origine nel 1968 dalla fusione di quattro associazioni: controlli automatici, ricerca operativa, elaborazione delle informazioni, strumentazione e controllo all'epoca, tutte considerate parte del campo di ricerca cibernetica.

Per l'Italia, Mauro Picone costituì, alla fine del 1960, un comitato organizzatore di una nuova associazione. La prima assemblea costitutiva si tenne presso il CNR, a Roma, il 10 dicembre 1960 e lì si definì la prima bozza di uno statuto che venne poi formalizzato il 4 febbraio 1961 di fronte a un notaio. I firmatari dell'atto furono cinque: Aldo Ghizzetti (professore di Analisi matematica a Roma La Sapienza, il quale aveva da poco partecipato alla fondazione di IFIP), Ettore Onorato (professore di Mineralogia a Roma La Sapienza), Enzo Luigi Aparo (professore di Matematica applicata a Roma La Sapienza e associato dell'Istituto Applicazioni del Calcolo), Paolo Ercoli (ricercatore CNR e poi professore di Calcolatori elettronici a Roma La Sapienza), Roberto Vacca (ricercatore CNR e poi docente di Calcolatori elettronici a Roma La Sapienza).

Nell'atto costitutivo redatto dal notaio i cinque firmatari indicano il primo Consiglio direttivo provvisorio di AICA:

- Mauro Picone, Università di Roma La Sapienza e Istituto per le Applicazioni del Calcolo, CNR, Linceo
- Aldo Ghizzetti, Università di Roma La Sapienza, Linceo, primo presidente di AICA
- Paolo Fortunati, Università di Bologna, senatore per cinque legislature
- Paolo Ercoli, Università di Roma La Sapienza
- Alfonso Caracciolo di Forino, Università di Pisa, Linceo
- Giovanni Semerano, Università di Padova poi Università di Bologna, Linceo
- Luigi Dadda, Politecnico di Milano, poi rettore, poi presidente di AICA
- Antonio Borsellino, Università di Genova e Laboratorio di Cibernetica e Biofisica del CNR, Camogli
- Albino Uggè, Università di Padova, Linceo
- Carlo Panattoni, Università di Padova
- Elserino Piol, direttore commerciale Olivetti, poi presidente di AICA
- Riccardo Berla, capo del personale Olivetti
- Francesco Piva, Università di Padova.

Come si vede, AICA fu fondata da un nucleo di noti scienziati e ingegneri, più un paio di olivettiani.

La prima riunione del Consiglio direttivo provvisorio di AICA si tenne a Bologna il 25 febbraio 1961. Lì venne deciso di organizzare la prima assemblea generale dei soci il successivo 28 maggio sempre a Bologna, presso l'Istituto di Matematica. L'assemblea generale elesse il primo Consiglio direttivo statutario che restò in carica per un triennio.

Nel primo consiglio vennero inclusi: Aldo Ghizzetti, Paolo Fortunati, Paolo Ercoli, Alfonso Caracciolo di Forino, Luigi Dadda, Elserino Piol, già membri del consiglio provvisorio. Vennero aggiunti: Giuseppe Birago di IBM, Mario Cavedon di Remington Rand, Enrico Ferrero del Credito Italiano, Gianoberto Santi di Edison Volta, Giorgio Savastano dell'Università di Napoli Federico II.

Da statuto, l'associazione si prefisse fini scientifici, culturali e divulgativi quali:

- contribuire al progresso delle discipline attinenti al trattamento delle informazioni, con particolare riguardo allo studio dell'elaborazione automatica dei dati, alle tecniche di impiego dei medesimi e alla loro applicazione ai problemi scientifici tecnici e organizzativi;
- promuovere lo scambio di informazioni tra gli specialisti in merito a questioni scientifiche o tecniche relative al trattamento automatico delle informazioni;
- rafforzare i contatti e favorire la collaborazione fra tutti gli enti e le persone interessate ai problemi di calcolo automatico, anche sul piano internazionale;
- divulgare la conoscenza dei vantaggi e delle possibilità offerte dal calcolo automatico e incrementare l'educazione scientifica e tecnica nelle discipline basilari a tale campo, anche mediante iniziative da prendere presso università e scuole;
- favorire il coordinamento delle attività di ricerca e di studio dei vari enti italiani onde facilitare gli enti di ricerca nella soddisfazione delle esigenze esistenti nel Paese;
- pubblicare periodici e curare l'edizione di libri di particolare valore;
- organizzare riunioni e congressi;
- organizzare la partecipazione italiana a congressi internazionali.

L'AICA ebbe sede a Roma in seno al CNR, grazie al supporto dell'INAC. Durante gli anni Settanta la sede venne gradualmente spostata a Milano, principalmente su impulso di Sacerdoti e di Dadda. Oggi AICA ha sede presso FAST, la Federazione delle Associazioni Scientifico-Tecniche dedicate alla formazione, all'informazione tecnico scientifica e ambientale, alla ricerca e al trasferimento tecnologico fondata nel 1897.

Le relazioni internazionali di AICA

L'adesione a IFIP

L'International Federation of Information Processing Societies (IFIPS, oggi IFIP) venne fondata nel 1960, sotto gli auspici dell'UNESCO con lo scopo di coordinare le associazioni nazionali che si occupano di tecnologie informatiche.

I rapporti di AICA con IFIP iniziarono nel marzo 1961. L'occasione di collaborazione fu la seconda *International Conference on Information Processing (ICIP)* che si tenne a Monaco

di Baviera il 27 agosto 1962. Il presidente AICA, Aldo Ghizzetti, aveva partecipato all'organizzazione della prima conferenza a Parigi (sempre di iniziativa UNESCO) nel giugno 1959, e venne coinvolto anche nel comitato di programma della seconda edizione.

Nel luglio 1961 il Consiglio direttivo di AICA deliberò l'adesione a IFIPS come società italiana affiliata alla federazione internazionale. Ghizzetti ed Ercoli parteciparono alla riunione IFIPS tenutasi nell'ottobre 1961 a Copenaghen – dove si decise di accorciare l'acronimo da IFIPS all'odierno IFIP. Paolo Ercoli, Giorgio Sacerdoti e Arrigo Frisiani, nel tempo, si alternarono come rappresentanti AICA in IFIP.

In tutti questi anni, il Consiglio direttivo di AICA ha designato i rappresentanti accademici italiani nei 14 Technical Committee di IFIP. La designazione avviene di solito su proposta della Sezione Internazionale e nomina del Consiglio direttivo di AICA. Ricordiamo, inoltre, che AICA ha organizzato il convegno mondiale *IFIP WCC* a Milano nel 2008 – per la prima volta in Italia. Paola Inverardi e Pierangela Samarati sono state recentemente nominate IFIP Fellow con il supporto della Sezione Internazionale di AICA.

La collaborazione con ACM

Il primo passo della relazione tra ACM e AICA fu nel maggio 1962, quando venne siglato un accordo con la rivista ACM Computing Reviews, per raccogliere articoli da recensire da parte di studiosi italiani. A seguire venne definito un comitato scientifico per segnalare articoli da recensire su Communications of the ACM.

Oggi ACM considera AICA una *sister society* e questo permette una politica di sconti reciproci per i soci che aderiscono a entrambe le associazioni.

La collaborazione con IEEE

AICA divenne una *sister society* dell'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) nel 1992. Tenendo conto dell'ampio spettro disciplinare di IEEE, AICA ha definito due accordi specifici: uno con IEEE Computer Society, che si occupa di Informatica; l'altro con IEEE Communications Society, che si occupa in modo più specifico di reti di comunicazione. Tali accordi permettono una politica di sconti reciproci per i soci che aderiscono a entrambe le associazioni.

Attività associative

Convegni e congressi

Sin dal suo primo anno di vita, AICA ha organizzato anche convegni scientifici. Infatti, nel 1962, a Pisa venne organizzato un convegno sui *Linguaggi simbolici di programmazione* presso l'Istituto di Fisica dell'Università. Subito dopo, a Bologna presso l'Istituto di Statistica, si tenne un convegno sui *Programmi di utilità*.

AICA, annualmente, organizza un congresso con comunicazioni relative a temi di interesse, di solito associati a quanto delineato dall'assemblea generale dei soci.

Il primo convegno annuale dell'AICA, tenutosi a Bologna nel maggio del 1963, nel Palazzo del Podestà, fu una vera conferenza scientifica. Uno dei partecipanti fu Alan Perlis, che all'epoca lavorava per il Carnegie Institute of Technology (che poi divenne la Carnegie Mellon University). Il suo intervento verteva su: *The imbedding of programming languages in automatic operating systems and its influence on ADP center operations*. Ricordiamo che Perlis nel 1966, venne insignito del primo premio Turing. Partecipò alla conferenza anche Marisa Bellisario, olivettiana, con la presentazione *Tecniche di messa a punto dei programmi*. Nella seconda parte dell'opera il lettore trova un medaglione dedicato a Marisa Bellisario.

Per molti anni i congressi AICA inclusero comunicazioni scientifiche. Osserviamo che ancora oggi AICA supporta le conferenze scientifiche organizzate in collaborazione con i Technical Committee di IFIP. Ad esempio, nel 2023 la 22° *International Conference on Entertainment Computing (IFIP TC 14)* è stata organizzata a Bologna e ha ricevuto il supporto amministrativo di AICA. Questo tipo di conferenze sponsorizzate da IFIP gode di un accordo con Springer che pubblica gli atti nella collana speciale LNCS-IFIP.

Una rilevante iniziativa convegnistica di AICA, supportata dal Ministero dell'istruzione, è *Didamatica - DIDAttica mediante l'inforMATICA* che fu proposta da Alfio Andronico dell'Università di Siena come evoluzione di un'attività iniziata da AICA nel 1984 come censimento nazionale sul software didattico.

L'attività editoriale del censimento rendeva disponibili le analisi dei questionari compilati dai progettisti del software didattico e dai docenti che li usavano. I risultati venivano comunicati in una giornata di lavoro, che si organizzava a Milano. La manifestazione era integrata da conferenze tenute da esperti su temi riguardanti possibilità, esperienze e prospettive dell'uso dell'informatica nella didattica. Dal 1989 la manifestazione divenne itinerante, ospitata solitamente da un'istituzione universitaria, con un vero *call for paper* e un comitato scientifico di revisione.

Uno dei più importanti convegni scientifici organizzati direttamente da AICA fu il *Convegno internazionale sulla storia e preistoria del Calcolo Automatico e dell'Informatica*, organizzato a Siena dal 10 al 12 settembre 1991. Parteciparono ricercatori del calibro di Alessandro Faedo, Luigi Dadda, Enzo Aparo, Paolo Ercoli, padre Roberto Busa, Stefano Crespi Reghizzi, Luigi Petrone, Franco Denoth, Bruno Fadini e Angelo Raffaele Meo.

Le riviste scientifiche

La rivista *Calcolo* (che esiste ancora oggi ed è pubblicata da Springer) nacque nel 1964 come edizione congiunta del CNR e di AICA. Venne diretta fino al 1970 da Sandro Faedo e Aldo Ghizzetti.

Nel 1970 AICA cessò la collaborazione editoriale col CNR e lanciò una propria Rivista di Informatica sotto la direzione di Luigi Dadda che ne restò direttore responsabile per molti anni.

La direzione scientifica venne affidata prima a Fabio Schreiber (Politecnico di Milano) dal 1976 al 1993; poi ad Arrigo Frisiani (Università di Genova) fino al 2001.

Nel 2002 si decise di terminare la Rivista di Informatica e di iniziare una rivista con taglio divulgativo.

Mondo Digitale nacque nel marzo del 2002 sotto la direzione di Franco Filippazzi e con un Comitato scientifico composto per gran parte di docenti universitari. Dal 2015 è diretta da Viola Schiaffonati (direttore responsabile, Politecnico di Milano) e Nicola Ferro (coordinatore scientifico, Università di Padova). Nel 2002 è stata accreditata presso Scopus, e lo è ancora oggi.

I gruppi di lavoro

I gruppi di lavoro (GdL) sono stati per oltre metà della vita di AICA un motore trainante per le attività dell'associazione. Il loro ruolo è stato quello di raccogliere, su base volontaria, i soci interessati all'approfondimento di specifici aspetti dell'informatica. I GdL organizzavano convegni specialistici e la pubblicazione di libri e raccolte di articoli dedicati a tali tematiche.

Nel 1971 c'erano undici GdL attivi, numero che arrivò a diciannove nel 1991, ma qui non ne daremo un elenco completo né una cronologia dettagliata.

Un tratto distintivo dei GdL è stato quello di fungere da nuclei per lo studio di temi emergenti di ricerca, affrontandoli nel momento della loro comparsa per favorirne il consolidamento e la diffusione. Nel corso del tempo, molti temi sono diventati obsoleti (Cobol, Algol, Calcolo analogico e ibrido ecc.) o sono entrati a far parte integrante della teoria e della pratica dell'informatica. In certi casi i GdL hanno dato origine ad associazioni specialistiche, come nel caso dell'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale (AIxIA) che è nata dal GdL omonimo. Ad oggi AICA e AIxIA sono *sister society* con reciproco riconoscimento dello status di socio e relativi sconti sulle quote di iscrizione.

- Gruppo di lavoro su Storia dell'Informatica

Il gruppo di lavoro Storia dell'Informatica esiste da tanto, essendo nato nel 1983 come "gruppo di interesse" su proposta dell'allora presidente Giorgio Sacerdoti e per iniziativa di Corrado Bonfanti. Fu coordinato per molti anni dallo stesso Bonfanti e poi da Silvio Hénin. Il GdL ha come finalità lo studio e la divulgazione della storia dell'Informatica e del Calcolo Automatico in tutti i loro aspetti, con particolare riferimento alle vicende e ai ricercatori italiani. Il gruppo ha prodotto molte pubblicazioni, alcune delle quali usate come fonte per questo articolo. Dal 2023 è coordinato da Maristella Agosti.

- Gruppo di lavoro su Etica digitale

Il gruppo di lavoro sull'Etica digitale si propone l'obiettivo di studiare come formare la prossima generazione di professionisti ICT come persone esperte anche sulle questioni sociali ed etiche della trasformazione digitale. Un'iniziativa di questo gruppo di lavoro è il premio ETIC. Tale premio è stato assegnato mediante concorso bandito annualmente dai distretti italiani del Rotary International in collaborazione con AICA e con il patrocinio della Conferenza dei Rettori delle Università Italiane

(CRUI). Il concorso premia le tesi di laurea magistrale e quelle di dottorato di ricerca che meglio trattano temi riguardanti le implicazioni sociali ed etiche derivante dall'uso delle tecnologie digitali.

- Gruppo di lavoro su diffusione ECDL

A metà degli anni Novanta, AICA, in collaborazione con altre associazioni europee, iniziò a interessarsi di certificazioni informatiche e nel 1996 introdusse in Italia la certificazione European Computer Driving License (ECDL). L'anno successivo venne firmato il primo di una serie di protocolli tra AICA e MIUR per sostenere la diffusione dell'alfabetizzazione informatica nelle scuole italiane.

Questo gruppo di lavoro ha lavorato per alcuni anni come Osservatorio della diffusione ECDL nelle scuole italiane sotto il coordinamento di Maria Carla Calzarossa. Ha prodotto un articolo accettato su un'importante rivista scientifica internazionale e vari articoli su conferenze internazionali.

Iniziative per scuole e università

Le iniziative di diffusione della cultura informatica per le scuole e le università sono state innumerevoli. Qui ne ricordiamo soltanto alcune tra quelle delle ultime due decadi.

Nel 2004, AICA ha curato alla *Fiera del Mare*, nell'ambito delle manifestazioni di Genova capitale europea della cultura la mostra dal titolo *Per fili e per segni* che è stata visitata da moltissime scolaresche. La mostra riguardava la storia dell'ICT e le sue prospettive future, sottolineando il contributo della ricerca italiana.

Sempre nel 2004 il GRIN ha iniziato a certificare i corsi di studio in Informatica mediante l'iniziativa del "bollino" proposta da Enrico Nardelli, iniziativa supportata da AICA. Si tratta di una certificazione di qualità dei contenuti dei corsi di studio che rispettano i parametri riconosciuti internazionalmente per la formazione universitaria in Informatica.

Dal 2004 al 2007 AICA e CINI, assieme alla Fondazione CRUI, hanno sperimentato l'introduzione della certificazione informatica dei professionisti, denominata EUCIP, nei corsi di laurea triennali di Informatica e di Ingegneria informatica. L'iniziativa è descritta nel contributo "Il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica (CINI)" di Ernesto Damiani, Angela Miola e Stefano Russo presente in questo volume.

Nel 2005 il progetto IT4PS – Information Technology for Problem Solving – condotto dalla CRUI insieme con AICA, è stato condotto allo scopo di sviluppare nelle università italiane le competenze per l'uso di alcuni strumenti di gestione di fogli elettronici e di basi di dati.

AICA ha finanziato l'istituzione di corsi di Storia dell'Informatica in undici università italiane nel triennio accademico 2006-2008, iniziativa poi continuata in molte università anche senza il diretto contributo di AICA. Quest'iniziativa è stata potenziata dall'istituzione, nell'anno accademico 2008-2009, di un bando per le migliori tesi di laurea sulla Storia dell'Informatica.

Le Olimpiadi Internazionali di Informatica (International Olympiad in Informatics - IOI) sono nate nel 1989, su iniziativa dell'UNESCO, con l'appoggio di IFIP. Altre discipline come la matematica e la fisica avevano già manifestazioni analoghe e consolidate sin dal 1967. Tutte queste olimpiadi sono riservate a studenti delle scuole secondarie di secondo grado di età non superiore ai vent'anni. Si svolgono con cadenza annuale in nazioni sempre diverse di ogni continente. In Italia le Olimpiadi di Informatica si sono svolte nel 2012 organizzate da AICA. La partecipazione italiana è organizzata dal Ministero dell'istruzione e del merito con l'aiuto di AICA e con la collaborazione di GRIN e GII. Il lettore interessato all'argomento è invitato a leggere il contributo presente in questo volume "Olimpiadi Italiane di Informatica" di Luigi Laura e Roberto Grossi.

AICA rimane un punto di riferimento per altre associazioni interessate alla ricerca in Informatica: ad esempio, da giugno 2023, l'Associazione per l'Informatica Umanistica e la Cultura Digitale (AIUCD) è diventata una *sister society* di AICA. Il contributo in questo volume "L'informatica umanistica" di Marina Buzzoni documenta anche la storia dell'associazione AIUCD.

Conclusioni

L'AICA dal 1961 è la casa comune delle comunità informatiche accademiche, industriali e degli utenti delle tecnologie dell'informazione. AICA è nata grazie all'impegno di alcuni importanti accademici e con il contributo decisivo del CNR. Nel tempo si sono susseguiti alla guida di AICA molti illustri docenti universitari, alternandosi con importanti professionisti provenienti dal mondo delle aziende informatiche nazionali.

Il contributo dato alle attività di ricerca in ambito informatico nelle varie forme in cui è strutturata l'associazione (gruppi di lavoro, sezioni territoriali, pubblicazioni, conferenze e progetti) è vastissimo. AICA è la *sister society* italiana di ACM e IEEE. AICA rappresenta l'Italia in IFIP e nelle Olimpiadi internazionali di Informatica.

La storia pluriennale di AICA, che abbraccia ormai tre generazioni, insieme alla sua connessione con la ricerca scientifica e l'innovazione digitale, costituisce un ricchissimo patrimonio culturale. È un'eredità che necessita di essere preservata e ampliata, affinché sia tramandata, accresciuta e tutelata anche per le generazioni future.

RINGRAZIAMENTI

Sono stato aiutato nella ricerca dei documenti originali che ho usato come fonti per questo articolo, da Emanuela Scalzotto, archivista e consigliera di AICA. Hanno risposto ad alcune domande i colleghi Maria Carla Calzarossa, Arrigo Frisiani, Roberto Vacca. Paolo Schgör e Marco Ferretti hanno riletto l'articolo e mi hanno dato preziosi suggerimenti. Di ogni errore od omissione resto l'unico responsabile.

BIBLIOGRAFIA

- AICA. 2004. *Per fili e per segni*. Milano: AICA.
- Alfonsi, Cristiana Rita, Elena Breno, Maria Carla Calzarossa, Paolo Ciancarini, Paolo Maresca, Luisa Mich, Fulvia Sala, e Nello Scarabottolo. 2008. "EUCIP in Italian Universities." In *Learning to Live in the Knowledge Society: IFIP WCC TC3 2008*. IFIP - The International Federation for Information Processing, vol 281, a cura di Michael Kendall, e Brian Samways, pp. 201-208. Boston: Springer.
- Alfonsi, Cristiana Rita, Nello Scarabottolo, Dino Pedreschi, e Maria Simi. 2005. "Tecnologie dell'Informazione per la risoluzione di problemi: il progetto IT4PS." In *Atti di Didamatica*. Milano: AICA.
- Bonfanti, Corrado. 1987. *Informatica in Italia. Una retrospettiva dalle origini al 1970*, 2ed. Milano: AICA.
- Bonfanti, Corrado, Franco Filippazzi, e Giulio Occhini, cur. 2011. *Attraverso le rivoluzioni informatiche. AICA: i primi cinquant'anni*. Milano: AICA.
- Calzarossa, Maria Carla, Paolo Ciancarini, Paolo Maresca, Luisa Mich, e Nello Scarabottolo. 2007. "The ECDL programme in Italian Universities." *Computers & Education* 49 (2): 514-529.
- Ghizzetti, Aldo, cur. 1971. *AICA 1961/1971 dieci anni di attività*. Roma: MARVES.
- Hoffsas, Colette. 1990. "The French Society of Computer Scientists: AFCET." In *Annals of the History of Computing*, 12 (3): 167-176.
- Italiani, Mario. 1991. "30 anni di AICA." In *Atti del Convegno internazionale sulla storia e preistoria del calcolo automatico e dell'informatica. Siena, 10-12 settembre 1991*. Milano: AICA, pp. 171-185.
- Misa, Thomas J., cur. 2016. *Communities of Computing: Computer Science and Society in the ACM*. New York: ACM.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-32>

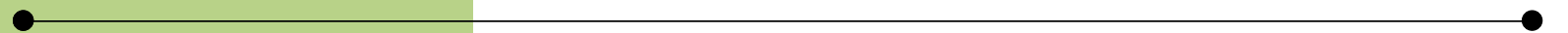


**Informatica
e società**

33

Ernesto Damiani
Angela Miola
Stefano Russo

**Il Consorzio Interuniversitario
Nazionale per l'Informatica
(CINI)**



Introduzione

Il sistema universitario italiano è uno dei maggiori e più articolati d'Europa. Nel 2024, esso comprende, oltre a sessantasette università statali, ventinove Università non statali legalmente riconosciute e nove istituti superiori a ordinamento speciale, e undici Università telematiche.

Per il legislatore, le università sono: “i luoghi primari di apprendimento ed elaborazione critica delle conoscenze” (Legge 240/2010, art.1, c. 1). Accanto alle istituzioni universitarie, il sistema universitario italiano comprende numerosi altri enti con funzioni di particolare rilevanza per lo sviluppo, l'organizzazione e la valutazione dell'intero sistema accademico.

Tra questi, sono ben noti il Consiglio Universitario Nazionale (CUN), la Conferenza dei Rettori delle Università italiane (CRUI), il Consiglio Nazionale degli Studenti Universitari (CNSU), e il Convegno dei direttori generali delle Amministrazioni Universitarie (CODAU) a cui va aggiunta l'Agenzia Nazionale di Valutazione del sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR).

Il Ministero dell'università e della ricerca (MUR) può riconoscere l'attività di altri soggetti costituiti per facilitare lo svolgimento di attività di ricerca e formazione in collaborazione tra più atenei. Tra questi ultimi si collocano i consorzi interuniversitari, la gran parte dei quali non sono stati istituiti per legge, ma sono nati per impulso di gruppi di atenei che hanno promosso accordi e collaborazioni tra le stesse università, altri enti di ricerca ed industrie nazionali, per promuovere e realizzare progetti innovativi e di dimensioni rilevanti. I consorzi interuniversitari sono soggetti giuridici costituiti da università pubbliche, riconosciuti e sorvegliati dal MUR ed eventualmente da altri ministeri competenti.

Alcuni consorzi interuniversitari hanno avuto un ruolo chiave nella trasformazione digitale del sistema universitario italiano. Ad esempio, il Consorzio interuniversitario CINECA (fondato nel 1965 con il nome di Consorzio Interuniversitario del Nord-Est per il Calcolo Automatico e poi integrato con altri consorzi), ha svolto un ruolo fondamentale nella creazione e nell'organizzazione dei servizi di super-calcolo per la ricerca offerti dal MUR agli atenei, nonché nello sviluppo e gestione di banche dati e servizi ministeriali a supporto delle procedure nazionali di valutazione.

Altri consorzi sono nati per favorire lo sviluppo di applicazioni innovative della tecnologia informatica in settori chiave. Il Consorzio di Bioingegneria e Informatica medica (CBIM), costituito nel 1992, è preposto alla progettazione di servizi informatici innovativi nel settore sanitario e collabora con il Ministero della salute per la gestione del sistema informativo della ricerca.

Altri consorzi si dedicano alla misura e al miglioramento dell'efficacia del sistema universitario. Ad esempio, Il Consorzio Alma Laurea (fondato nel 1994) è il principale responsabile delle indagini annuali relative al profilo dei laureati e dell'analisi degli sbocchi occupazionali.

Il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica (CINI, www.consorzio-cini.it) costituito nel 1989 e sotto la vigilanza del MUR, nasce – analogamente al Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni (CNIT), costituito

nel 1995 – da un'esigenza del tutto diversa, ossia, permettere ai docenti e ai ricercatori italiani che operano nell'ambito delle scienze e tecnologie informatiche di organizzarsi come un'unica comunità scientifica per collaborare a livello interuniversitario alle grandi iniziative di ricerca e per interagire con la Pubblica Amministrazione (PA) e le grandi imprese nazionali.

Nello svolgere questo ruolo, il CINI contribuisce da oltre un trentennio a indirizzare l'evoluzione della ricerca in informatica in Italia, promuovendo l'uso delle tecnologie e dei metodi computazionali e l'interdisciplinarietà con tutti i settori di ricerca e formazione.

Per comprendere il ruolo del CINI occorre ricordare che la normativa che regola il reclutamento dei docenti universitari ha introdotto e mantenuto nel corso degli anni una distinzione tra due settori scientifico-disciplinari.

Il settore denominato INF/01 “Informatica” fa parte dal D.M. del 4 ottobre 2000 dell'area delle Scienze matematiche e informatiche. Secondo la normativa, il settore: “Raggruppa competenze e ambiti di ricerca propri dell'informatica e della teoria dell'informazione, posti alla base dell'approccio informatico allo studio dei problemi e, congiuntamente, della progettazione, produzione e utilizzazione di sistemi informatici per l'innovazione nella società”.

Il settore denominato ING-INF/05 “Sistemi di elaborazione delle informazioni” fa invece parte dell'area dell'Ingegneria industriale e dell'informazione.

Secondo la normativa, il settore è caratterizzato dalle: “competenze scientifico-disciplinari relative al progetto e alla realizzazione dei sistemi di elaborazione dell'informazione, nonché alla loro gestione e utilizzazione nei vari contesti applicativi con metodologie e tecniche proprie dell'ingegneria”. Rientrano in questo ambito i fondamenti teorici, i metodi e le tecnologie atti a produrre progetti tecnicamente validi, dal punto di vista sia dell'adeguatezza delle soluzioni proposte sia della possibilità di realizzazione tecnica sia della convenienza economica sia dell'efficacia organizzativa.

I confini tra i due settori sono sempre stati sfumati e fortissime sono le relazioni scientifiche e culturali che li legano. Oggi, l'adozione di un approccio scientifico o ingegneristico dipende, in primo luogo, dal problema informatico da risolvere poi dalla storia e dalla formazione dei singoli docenti, oltre che, naturalmente, dagli obiettivi della ricerca.

Oltre ai docenti e ricercatori universitari dei due settori scientifico-disciplinari INF/01 e ING-INF/05, la comunità scientifica italiana dell'informatica ha una terza componente, non meno importante delle prime due: i ricercatori informatici degli enti di ricerca nazionali.

In particolare, il Consiglio nazionale delle ricerche (CNR) svolge attività di ricerca, valorizzazione, trasferimento tecnologico e formazione nel settore delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione e delle scienze computazionali. Gli istituti e i singoli ricercatori del CNR hanno giocato un ruolo chiave nella crescita di Internet, dei suoi servizi e delle applicazioni, aprendo nuovi scenari di ricerca e sviluppo che spaziano dalle reti telematiche fisse e mobili ad alta velocità e pervasività, alla sicurezza e privacy dei dati, alle tecnologie per il Web includendo le tematiche relative alla governance dell'Internet del futuro.

La ricchezza culturale che appare dalle descrizioni delle tre macro-componenti appena ricordate è ulteriormente accresciuta dalla presenza degli informatici in altri enti di ricerca nazionali, come l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA¹) che opera nelle nuove tecnologie a sostegno delle politiche di competitività e di sviluppo sostenibile. Vanno poi menzionati gli informatici che operano in centri regionali – dalla Fondazione Bruno Kessler (FBK) a Trento, al Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori (CRS4) in Sardegna – contribuendo in modo significativo allo sviluppo scientifico e tecnologico a livello regionale, nazionale e internazionale. Questo panorama variegato suggerisce un grande potenziale di collaborazione ma evidenzia anche il rischio della creazione di confini artificiali, che potrebbero portare a una frammentazione e a un impoverimento delle conoscenze e delle idee.

È stata la consapevolezza di tale rischio a far comprendere ai pionieri della nostra disciplina l'importanza di costruire una “casa comune” aperta a tutta la comunità nazionale degli informatici e degli ingegneri informatici.

Di questa casa comune, il CINI, ripercorriamo brevemente la storia in questo contributo.

La storia del CINI

Nel sistema universitario italiano l'interesse per il calcolo automatico data addirittura dal 1927, quando Mauro Picone fondò, presso l'Università di Napoli, il primo Istituto di calcolo numerico. Lasciando ad altri capitoli di questo volume il compito di ripercorrere lo sviluppo impetuoso dell'informatica italiana dal dopoguerra e la storia degli organismi associativi, ricordiamo qui due tappe importanti per la nascita di associazioni e consorzi in cui gli universitari giocarono un ruolo importante: la fondazione nel 1961 di AICA (Associazione Italiana del Calcolo Automatico) e la già menzionata costituzione del CI-NECA a Bologna nel 1965. La storia del CINI inizia in un momento successivo, durante la progressiva affermazione, negli anni Settanta e Ottanta del secolo scorso, dell'informatica sia come disciplina scientifica autonoma, sia come tecnologia in grado di modificare profondamente il tessuto sociale ed economico del Paese e cambiare la vita delle persone.

Le origini

Il primo Corso di laurea in Scienza dell'informazione fu istituito a Pisa nel 1969; negli anni successivi si costituirono istituti come il CNUCE (Centro Nazionale Universitario per il Calcolo Elettronico) del CNR, che ebbe un ruolo importante nella diffusione di Internet e, a Bari, il CSATA (Centro Studi e Applicazioni in Tecnologie Avanzate) a opera di Aldo Romano.

1. L'acronimo ENEA ha più volte cambiato significato: inizialmente era Ente Nazionale per l'Energia Atomica, poi Ente Nazionale per le Energie Alternative, infine, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.

All'inizio degli anni Ottanta, l'avvento dei microprocessori e la diffusione dei personal computer resero possibile fare ricerca in informatica anche senza disporre di grandi sistemi di calcolo e l'interesse per la ricerca e la formazione informatica dilagò anche negli atenei più piccoli, che diedero vita a feconde collaborazioni tra loro e con quelli di maggiori dimensioni.

Nella seconda metà degli anni Ottanta si iniziarono a commercializzare i telefoni cellulari, per i quali si adottò, nel 1991, il sistema GSM (Global System for Mobile communications) e il GPRS (General Packet Radio Service) per la trasmissione di voce e dati, creando un'infrastruttura di rete mobile pubblica e aperta allo sviluppo di protocolli e di sistemi distribuiti innovativi.

La costituzione del CINI

La costituzione del CINI avvenne il 6 dicembre 1989, su iniziativa di sette atenei fondatori (tra parentesi, i sottoscrittori dell'atto costitutivo): Università di Pisa (Giorgio Cavallini, prorettore), Università di Milano (Giovanni Degli Antoni), Politecnico di Milano (Giampio Bracchi), Università di Napoli Federico II (Carlo Ciliberto, Rettore), Università di Torino (Alberto Martelli), Università di Roma La Sapienza (Stefano Levaldi Ghiron) e Università di Pavia (Ivo De Lotto).

I sottoscrittori furono anche designati quali membri del primo Consiglio Direttivo, a eccezione dell'Università di Napoli Federico II e dell'Università di Pisa in rappresentanza delle quali, con lo stesso atto, furono designati, rispettivamente, Bruno Fadini e Ugo Montanari – quest'ultimo fu poi eletto primo direttore del CINI. Ciascun ateneo versò una quota consortile di 30 milioni di lire per la costituzione di un fondo consortile iniziale di 210 milioni. La prima pagina dell'atto notarile con cui fu costituito il consorzio è mostrata in Fig. 1.

Il modello organizzativo iniziale del CINI si basava sulla creazione di unità di ricerca presso tutte le università consorziate, che dovevano costituire una rete “a grafo completo” per massimizzare lo scambio di idee e conoscenza tra le unità stesse.

L'accordo tra questi atenei fondatori fu progressivamente allargato ad altre università e ottenne in pochi anni l'avallo dal MUR con il DM del 3 settembre 1991, registrato alla Corte dei conti il 9 aprile 1992 e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n° 125 del 29 maggio 1992. Il decreto istitutivo riconobbe la personalità giuridica e lo statuto del CINI con sede in Roma.

Questo riconoscimento fu reso possibile dall'impegno e dalla personalità di Ugo Montanari (presidente dal 1989) ricercatore e docente di grande prestigio e tessitore instancabile di relazioni nazionali e internazionali per il progresso della ricerca in informatica. Ugo Montanari si era formato al Politecnico di Milano e successivamente spostato all'Università di Pisa dove, nel 1969, stava nascendo il primo corso di Laurea in Scienze dell'Informazione, divenendo presto una guida della comunità scientifica italiana.

Nei primi anni di vita del CINI, Ugo Montanari si dedicò a creare una fitta rete di collegamenti tra persone e istituzioni, favorendo le collaborazioni di ricerca e gli scambi di idee innovative a livello nazionale e internazionale. Grazie a lui, il CINI ampliò il bacino di interesse delle collaborazioni interuniversitarie su temi chiave come quello dei sistemi con-

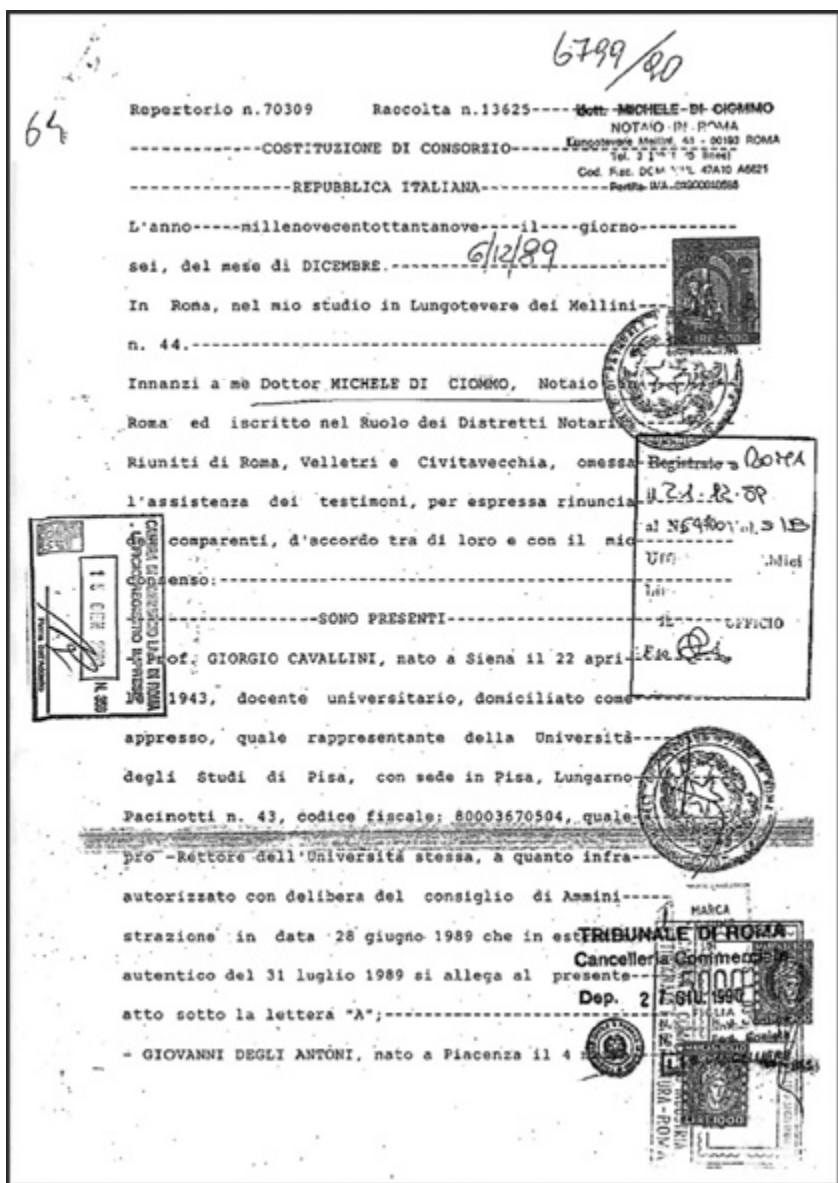


Fig. 1 Prima pagina dell'atto costitutivo del CINI del 6 dicembre 1989 (archivio CINI).

correnti (si veda il contributo di Roberto Bruni, Ugo Montanari sui Sistemi concorrenti di questo volume), creando le condizioni per lo sviluppo dell'intera area informatica in Italia.

Oggi la compagine consortile del CINI vede partecipanti a pari titolo:

Università	Politecnici	Scuole Superiori /Altri Studi
Bari	Bari	IMT Lucca
Bergamo	Milano	S. Anna
Bologna	Torino	GSSI L'Aquila
Bolzano		
Brescia		
Calabria		
Cagliari		
Camerino		
Campania Vanvitelli		
Calabria Cosenza		
Cassino e Lazio Merid.		
Catania		
Magna Grecia CZ		
Chieti Pescara		
Ferrara		
Firenze		
Foggia		
Genova		
L'Aquila		
Macerata		
Messina		
Milano		
Milano Bicocca		
Modena e RE		
Napoli Federico II		
Napoli Parthenope		
Padova		
Palermo		
Parma		
Pavia		
Perugia		
Piemonte Orientale		
Pisa		
Politecnica Marche		
Mediterranea RC		
Roma Sapienza		
Roma Tor Vergata		
Roma Tre		
Salento Lecce		
Sannio Benevento		
Siena		
Torino		
Trento		
Trieste		
Udine		
Urbino		
Venezia		
Verona		

Tab. 1 Le istituzioni accademiche consorziate nel CINI.

La Fig. 2 mostra la distribuzione geografica sul territorio nazionale delle 52 istituzioni accademiche consorziate nel CINI.

Dalla sua costituzione, sei sono i direttori che si sono succeduti alla guida del consorzio, elencati in Tab. 2.

Gli anni dello sviluppo

Gli anni dal 1994 al 2000 furono quelli dello sviluppo mondiale di Internet. Alla direzione del CINI fu eletto Ivo De Lotto, che aveva diretto per vent'anni il centro di calcolo dell'Università di Pavia. Ivo De Lotto aveva contribuito molto alla definizione del profilo professionale degli ingegneri informatici e promosso con successo lo studio e la messa in opera di nuove architetture di calcolo e di rete. Gli anni del suo mandato videro la diffusione di Internet e l'affermazione delle applicazioni web, rese possibili dalla disponibilità dei primi browser come Mosaic, sviluppato negli Stati Uniti dal National Center for Supercomputing Applications dell'Università dell'Illinois e diffuso dal 1993.

Ivo De Lotto portò al CINI la sua visione innovativa nel concepire e realizzare i progetti di ricerca, procurarsi i finanziamenti, guidare le attività e organizzare i gruppi di collaborazione interuniversitaria necessari per realizzarle, selezionando le migliori competenze disponibili.

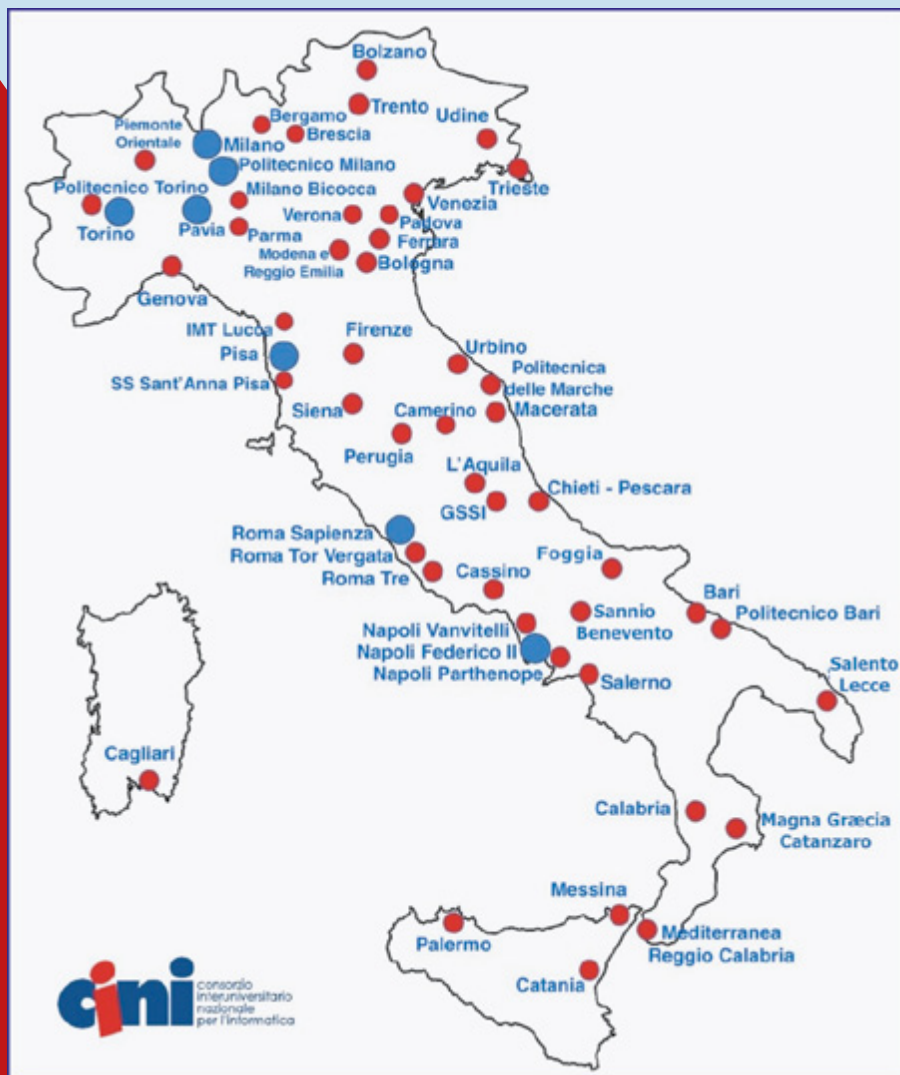


Fig. 2 Mappa dei 54 Atenei consorziati nel CINI a marzo 2024 (in blu gli atenei fondatori), archivio CINI.

Periodo	Direttore/ Presidente	SSD	Ateneo
1989-1994	Ugo Montanari	INF/01	Università di Pisa 
1995-2000	Ivo De Lotto	ING-INF/05	Università degli Studi di Pavia 
2001-2006	Bruno Fadini	ING-INF/05	Università degli Studi di Napoli Federico II 
2007-2012	Paolo Ciancarini	INF/01	Alma Mater Studiorum Università di Bologna 
2013-2018	Paolo Prinetto	ING-INF/05	Politecnico di Torino 
2019-2024	Ernesto Damiani	INF/01	Università degli Studi di Milano 
2025-2028	Stefano Russo	ING-INF/05	Università degli Studi di Napoli Federico II 

Tab. 2 I direttori/presidenti nella storia del CINI.

In quegli anni, il CINI contribuì alla partecipazione della comunità scientifica italiana alla messa a punto delle raccomandazioni del World Wide Web Consortium (W3C) dell'Internet Engineering Task Force (IETF) e allo sviluppo del movimento Open Source, con il coinvolgimento di pionieri dei sistemi aperti come Beppe Attardi – che promosse la diffusione di Internet in Italia attraverso la campagna “No TUT” per ridurre i costi di accesso alla rete – e Angelo Raffaele Meo. Quest’ultimo, pioniere dell’informatica italiana fin dagli anni Sessanta e noto per le sue posizioni a favore del software a sorgente aperto, fu poi a capo a partire dal 2007 della Commissione per il software a codice sorgente aperto nella pubblica amministrazione, che era stata istituita dal Ministero per l’innovazione e le tecnologie con DM del 31 ottobre 2002.

Il nuovo millennio

Negli anni dal 2001-2006 la direzione del CINI passò a Bruno Fadini (direttore tecnico: Giuseppe Meregaglia; Giunta amministrativa: Giancarlo Bongiovanni, Paolo Ciancarini, Ivo De Lotto, Ugo Montanari) che fin dal 1963 aveva tenuto presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II uno dei primi corsi italiani di Architettura dei sistemi per l'elaborazione dell'informazione. Più volte direttore del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli Federico II, Bruno Fadini era anche stato presidente dell'AICA negli anni tra il 1997 e il 2000 e aveva diretto il Progetto Finalizzato CNR Sistemi Informatici e Calcolo Parallelo.

In quegli anni, grazie ai progetti pluriennali realizzati da alcune unità di ricerca, il CINI poté introdurre strutture operative sempre più significative per guidare la ricerca su questi nuovi temi. Proprio a Napoli, durante i mandati di Bruno Fadini, nel 2000 si crearono le condizioni per realizzare il primo Laboratorio Nazionale CINI, in una sede messa a disposizione dall'Università di Napoli Federico II in base a un accordo trilaterale con CINI e CNIT nell'ambito dei Progetti Cluster (Legge 488 "Iniziativa per il potenziamento delle Reti di Ricerca in Italia"). In cinque anni, grazie all'impegno del suo primo direttore Giorgio Ventre, il laboratorio CINI di Napoli sulle tematiche dell'Informatica e della Telematica Multimediali (ITeM) divenne un vero e proprio incubatore di progetti di ricerca di base e applicata e di formazione avanzata, coinvolgendo anche altre unità di ricerca CINI.

Nel luglio 2006, il laboratorio di Napoli si trasferì, sotto la direzione locale di Stefano Russo, in quella che è tuttora la sua sede, nel complesso universitario di Monte S. Angelo dell'Università Federico II (Fig. 3). La localizzazione della nuova sede nel complesso ove aveva sede la facoltà di Scienze dell'Ateneo, e in prossimità della Facoltà di Ingegneria, favorì un'ampia e continua interazione tra docenti e ricercatori di entrambi i settori scientifico-disciplinari, nonché l'interazione con l'ateneo stesso. La nuova sede fu intitolata a Carlo Savy, amico e collaboratore di Bruno Fadini, in ricordo delle sue capacità di studioso e di formatore e di primo animatore delle attività del laboratorio stesso. La sede fu inaugurata il 9 ottobre 2006 alla presenza del Ministro per le riforme e le innovazioni nella Pubblica Amministrazione, Luigi Nicolais.

Una nuova struttura

Negli anni 2007-2012 la direzione del CINI passò a Paolo Ciancarini, coadiuvato dal vicedirettore Paolo Prinetto, dal direttore tecnico Giuseppe Meregaglia, e dalla Giunta amministrativa che comprendeva Marco Ferretti, Antonino Mazzeo e Ugo Montanari. Durante i mandati di Paolo Ciancarini – docente del settore INF/01 all'Università di Bologna, presidente delle Scuole Congiunte di Dottorato in Tecnologie dell'informazione e della comunicazione dell'Ateneo bolognese dal 2008 al 2011, nonché uno dei pionieri a livello europeo del governo dei processi dell'innovazione digitale – il CINI si trovò a operare in un contesto in rapida e profonda mutazione, cui si adeguò con un nuovo statuto.

La rete Internet raggiunse, nel 2010, un miliardo di persone nel mondo anche grazie al successo senza precedenti delle reti sociali. Telefoni cellulari, personal computer portatili, televisori, riproduttori multimediali e fotocamere digitali divennero dispositivi polivalenti interconnessi. Come conseguenza, aumentò l'attenzione della comunità scientifica italiana e internazionale all'accessibilità delle interfacce software e all'interazione uomo-macchina per le nuove applicazioni multimediali. Sotto la guida di Paolo Ciancarini, aumentò l'attenzione nel CINI anche per l'ingegneria del software, la qualità dei dati e l'interoperabilità dei sistemi. Nell'ambito dell'International Standard Organization (ISO), nel 2008 venne divulgato lo standard ISO/IEC 25012 "Data Quality Model" nato su ideazione e iniziativa italiane. A Paolo Ciancarini si deve anche l'allargamento della Giunta ai presidenti dei gruppi scientifici GII (ING-INF/05) e GRIN (INF/01) che rese ancor più stretto e assiduo il coordinamento delle iniziative CINI con i settori scientifico-disciplinari di cui, come ricordato, è la casa comune. Alla presidenza Ciancarini si deve anche l'adesione del CINI, volontaria e onerosa, alla Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR) da parte ANVUR sin dalla prima edizione (VQR 2004-2010).

Due iniziative degne di rilievo perché rappresentative delle capacità progettuali del consorzio in collaborazione con grandi imprese nazionali – furono il laboratorio pubblico-privato COSMIC e il progetto Iniziativa Software, realizzati con l'allora Selex ES del gruppo Finmeccanica (oggi Leonardo S.p.A.) negli anni dal 2006 al 2015 con il contributo primario del Laboratorio ITeM di Napoli.

Il Centro di ricerca sistemi Open Source per le applicazioni ed i servizi Mission Critical (COSMIC), finanziato in due riprese dal MUR sui fondi del Programma Operativo Nazionale (PON), fu il prototipo innovativo e di grande impatto nella collaborazione pubblico-privata (purtroppo non più replicata nei bandi del ministero) nel settore del software per sistemi mission-critical, con particolare riferimento ai sistemi di controllo del traffico aereo. COSMIC permise la ricerca congiunta tra università, centri di ricerca industriale e industria, ma anche la formazione di molte decine di giovani ingegneri informatici (poi confluiti in Finmeccanica) in un settore cruciale dell'elettronica nazionale, nel quale il software andava assumendo un ruolo sempre più importante.

Al finanziamento pubblico del Laboratorio COSMIC si affiancò quello industriale del progetto Iniziativa Software – grazie alla volontà e all'impegno di Fulvio Marcoz del centro di ricerca e sviluppo Soluzioni Evolute per la Sistemistica e i Modelli (SESM) di Finmeccanica – per la formazione alla ricerca industriale di laureati e dottori di ricerca nel settore informatico, in collaborazione tra varie università e aziende del gruppo industriale.

La collaborazione con Finmeccanica nell'ingegneria del software comprendeva peraltro il trasferimento di conoscenze e metodologie innovative verso il personale tecnico del gruppo, svolto mediante numerose edizioni, in oltre un decennio, di corsi sulle architetture e le tecnologie software avanzate.



Fig. 3 Il presidente CINI, Bruno Fadini (secondo da destra) e il direttore del Laboratorio, Stefano Russo (a sinistra) al convegno inaugurale della nuova sede del Laboratorio CINI ITeM "Carlo Savy" il 9 ottobre 2006 a Napoli, alla presenza del Ministro della PA, Luigi Nicolais (al centro), Archivio CINI.

I Laboratori Nazionali

Dal 2013 al 2018 fu presidente, per due mandati, Paolo Prinetto, docente del settore ING-INF/05 al Politecnico di Torino, affiancato dal vicepresidente Paolo Ciancarini, dal direttore esecutivo Angela Miola, e dalla Giunta composta nel primo triennio da Rocco De Nicola, Marco Ferretti, Raffaele Giancarlo, Maurizio Lenzerini, Leonardo Lesmo, Stefano Russo, e dai presidenti GRIN Enrico Nardelli e GII Antonino Mazzeo (invitati). Nel secondo triennio la Giunta era composta da Paolo Ciancarini, Luca Console, Rocco De Nicola, Marco Ferretti, Raffaele Giancarlo, Enrico Nardelli, Antonio Puliafito, Stefano Russo, e dai presidenti (invitati) Enrico Nardelli per il GRIN e Luigi Romano per il GII – poi sostituito, nel 2017, da Paolo Atzeni.

Nasce nel 2013 il modello organizzativo dei Laboratori Nazionali tematici a rete distribuiti sul territorio nazionale. Ogni laboratorio è caratterizzato da una precisa missione, sia scientifica sia operativa, e organizzato come rete di sedi (nodi) presso le unità di ricerca negli atenei consorziati. Ciascun laboratorio opera come centro di attività di ricerca e sviluppo di conoscenze, competenze, metodologie, tecnologie, strumenti e servizi relativi alla propria missione; sviluppando progetti e attività di trasferimento tecnologico, fornisce supporto alla PA a livello nazionale, tramite i nodi, a livello locale. Mirando alla creazione di sinergie durature con il sistema industriale e la PA, persegue il raggiungimento di una visibilità locale, nazionale e internazionale del Consorzio. I primi laboratori nazionali sono stati: Assistive Technologies, Big Data, CFC (Competenze, Formazione, Certificazioni) e InfoLife.

Nel 2014 Paolo Prinetto concepì, assieme a Roberto Baldoni di Sapienza Università di Roma, il Laboratorio Nazionale sul tema della Cybersecurity. In seguito, Baldoni diede un impulso determinante al settore anche nel suo ruolo di vicedirettore generale del Dipartimento dell'informazione per la sicurezza (DIS) con responsabilità per la sicurezza informatica nazionale. Nel 2021, Roberto Baldoni fu nominato primo direttore generale della neonata Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN).

La cybersicurezza consiste nel proteggere le reti, i sistemi, i dati, le applicazioni e i dispositivi informatici dagli attacchi informatici mirati a interromperne le operazioni, ottenere l'accesso non autorizzato ai sistemi, appropriarsi di dati o proprietà intellettuale o estorcere denaro alle organizzazioni. Una cybersicurezza efficace richiede una difesa a più livelli che coinvolga tecnologie, processi, competenze in materia di sicurezza per proteggere le organizzazioni da attacchi che possono causare perdite di profitti e della reputazione. Il Laboratorio Nazionale CINI Cybersecurity, nato nel 2014 e diretto inizialmente da Roberto Baldoni, divenne un riferimento per l'intero settore e il modello per gli altri Laboratori Nazionali, la storia di alcuni dei quali viene rievocata nel seguito di questo capitolo. Durante il mandato di Paolo Prinetto vennero costituiti ulteriori Laboratori Nazionali, che definirono la rinnovata organizzazione del consorzio.

La storia recente

Nel 2019 fu chiamato alla presidenza del CINI Ernesto Damiani, docente del settore INF/01 all'Università degli Studi di Milano, affiancato dal direttore esecutivo Angela Miola, e dalla Giunta composta, nel primo triennio, da Luca Console, Rocco De Nicola, Enrico Nardelli, Daniele Nardi, Giuseppe Pirlo, Paolo Prinetto, Stefano Russo e dai rappresentanti (invitati) dei gruppi Paolo Ciancarini per il GRIN e Paolo Atzeni per il GII. Per il secondo mandato la Giunta era composta da Alessandro Armando, Paolo Atzeni (sostituito a fine 2022 da Beniamino Di Martino), Sebastiano Battiato, Paolo Ciancarini, William Fornaciari, Daniele Nardi, Stefano Russo e Tullio Vardanega e dai presidenti (invitati) dei gruppi Fabio Gadducci per il GRIN e Stefano Paraboschi per il GII. Alla vicepresidenza furono chiamati, prima, Marco Ferretti dell'Università di Pavia, poi, Stefano Russo dell'Università di Napoli Federico II.

Ernesto Damiani, che negli anni Novanta aveva contribuito alla diffusione di Internet in Italia – anche come direttore tecnico della rivista Internet News – aveva poi ricoperto incarichi di rilievo in Italia e presso diverse istituzioni internazionali. In quel periodo, con l'ondata pandemica COVID-19, gli informatici italiani dovettero far fronte alla necessità di un'accelerazione sul fronte delle tecnologie informatiche indispensabili per la ricerca su nuove terapie e strumenti diagnostici nonché per la transizione online di attività produttive e di servizio del Paese.

L'impetuosa accelerazione nell'adozione di tecnologie informatiche nel triennio 2019-2021 spinse all'ampliamento delle attività del CINI a una varietà di aree di ricerca e trasferimento tecnologico, con la nascita dei nuovi Laboratori Nazionali in Intelligenza Artificiale e in Digital Health e con la costituzione di nuovi gruppi di lavoro.

Negli anni successivi alla pandemia, il CINI ha giocato un ruolo importante – in collaborazione e accordo con il MUR e gli Atenei consorziati – nella realizzazione della Missione 4 del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). La Missione 4 mira a rafforzare le condizioni per lo sviluppo di un'economia ad alta intensità di conoscenza, competitività e resilienza. Il CINI, attraverso i suoi principali Laboratori Nazionali, ha contribuito alla progettazione e alla nascita degli organismi (partenariati ed ecosistemi della ricerca) incaricati di ovviare alle criticità del sistema nazionale di istruzione, formazione e ricerca.

Durante i mandati di Ernesto Damiani, il CINI ha mostrato anche una rinnovata attenzione ai problemi interdisciplinari posti dalla nuova infrastruttura di rete mobile 5G e dall'adozione generalizzata dell'intelligenza artificiale, raggiungendo nuovi traguardi in termini delle risorse acquisite tramite i progetti finanziati a livello nazionale ed europeo.

Dal 2025 presidente del Consorzio è il prof. Stefano Russo (Università di Napoli Federico II).

I Laboratori Nazionali

Il CINI è oggi dotato di tredici laboratori nazionali, dei quali dodici laboratori tematici (elencati in Tab. 3), cui si aggiunge lo storico Laboratorio Nazionale ITeM “Carlo Savy” presso l'Università di Napoli Federico II.

Ad eccezione del laboratorio di Napoli, ciascun laboratorio è organizzato in una rete di nodi nelle università e enti di ricerca (anche non consorziati al CINI), aggregando la comunità attiva scientificamente sulla tematica di riferimento e animandone le attività anche attraverso iniziative quali l'organizzazione di convegni divenuti ormai eventi nazionali di riferimento e di confronto tra mondo della ricerca, aziende, pubblica amministrazione e istituzioni, nonché di scuole di dottorato (Tab. 4).

In questa seconda parte del capitolo presentiamo la storia e le iniziative di alcuni dei principali Laboratori Nazionali del CINI.

Laboratorio Nazionale Artificial Intelligence and Intelligent Systems (AIIS)













a cura di Daniele Nardi, direttore del Laboratorio AIIS

Il Laboratorio Nazionale Artificial Intelligence and Intelligent Systems (AIIS) è stato costituito a giugno 2018, con il sostegno del Dipartimento di Informazione e Sicurezza della Presidenza del Consiglio dei ministri. La direzione per il triennio 2018-2021 è stata affidata a Rita Cucchiara dell'Università di Modena e Reggio Emilia. Il Laboratorio AIIS ha riscosso immediato interesse nella comunità scientifica nazionale, portando alla creazione di una rete di oltre cinquanta nodi con oltre mille afferenti. Attualmente, il laboratorio è diretto da Daniele Nardi della Sapienza Università di Roma e conta oltre 1 200 tra professori e ricercatori, in 58 nodi, in 47 università e 8 istituti di ricerca.

A partire dalla sua istituzione, il Laboratorio AIIS si è dedicato alla creazione di un ecosistema italiano dell'intelligenza artificiale IA inclusivo di tutte le competenze, votato a evidenziare le eccellenze nazionali e rafforzare il ruolo scientifico e tecnologico dell'Italia nel settore, in Europa e nel mondo.

Gli obiettivi del Laboratorio AIIS riflettono un impegno ambizioso su diversi fronti: rafforzare la ricerca italiana in IA e Sistemi Intelligenti; sostenere il ruolo strategico dell'Italia nelle iniziative globali; supportare l'industria IT italiana attraverso il trasferimento tecnologico, favorendo la creazione di start-up e coinvolgendo piccole e medie imprese con prodotti IA; affrontare sfide sociali come medicina, benessere e istruzione, promuovendo in special modo l'adozione di soluzioni IA nella Pubblica Amministrazione; contribuire a nuove visioni dell'IA, diffondendo la consapevolezza sulle grandi opportunità, ma anche sui rischi, dell'utilizzo di tecnologie IA.

Nel Laboratorio AIIS converge un ampio spettro di temi di ricerca, che spaziano dagli aspetti teorici e metodologici a quelli più tecnologici e applicativi, e colgono il carattere fortemente interdisciplinare dell'intelligenza artificiale, includendo oltre alle aree di ricerca tipiche dell'Informatica e dell'Ingegneria informatica, numerose altre disci-

Laboratorio Nazionale	Acronimo	Logo	Istituzione
Artificial Intelligence and Intelligent Systems	AIIS		2018
Assistive Technologies	AsTEch		2013
Competenze ICT - Formazione Certificazione	CFC		2013
Cybersecurity			2014
Data Science	DS		2013
Digital Health	DH		2022
Embedded Systems and Smart Manufacturing	ESSM		2016
High Performance Computing: Key Technologies and Tools	HPC-KTT		2021
Informatica e Scuola			2019
Informatica e Società			2016
Metodi Formali e Algoritmici per le Scienze della Vita	InfoLife		2013
Smart Cities and Communities			2015

Tab. 3 I dodici Laboratori Nazionali tematici del CINI.

plines. Allo scopo di favorire l'impatto delle ricerche svolte dalla comunità accademica, sono state definite delle iniziative specifiche su tematiche verticali tra le quali: IA per l'Industria, IA per la Finanza e il Commercio, IA per Cybersecurity, IA per la Pubblica Amministrazione, IA per la Medicina e la Salute, IA per la Sostenibilità, IA Responsabile e Affidabile, IA e Educazione.

Dal 2019 il Laboratorio AIIS organizza il Convegno Ital-IA, in collaborazione con Confindustria, per sviluppare obiettivi comuni tra istituzioni, industria e ricerca scientifica nazionali. Dopo il successo della prima edizione a Roma, l'evento è stato riproposto nel 2022 a Torino (in modalità online a causa della pandemia) e nel 2023 presso il CNR di Pisa, con il ritorno a un'ampia partecipazione in presenza. L'edizione 2024 a Napoli è stata organizzata con il Partenariato Esteso Future Artificial Intelligence Research (FAIR) finanziato dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Dal 2021, il Laboratorio AIIS partecipa alla manifestazione europea Maker Faire, nelle cui edizioni ha presentato numerose iniziative focalizzate su realtà industriali di piccole e medie dimensioni, impegnate nello sviluppo di soluzioni legate all'IA, con spazi espositivi per progetti e realizzazioni ad alta tecnologia e incontri su tematiche di interesse per la comunità.

Il Laboratorio ha proposto la pubblicazione di un Osservatorio permanente sulla ricerca in IA, già nella sua prima edizione nel 2022. L'Osservatorio fornisce un quadro sintetico delle novità principali nel campo dell'IA emerse nel corso dell'anno, con riferimento al quadro internazionale nel quale la ricerca italiana occupa una posizione di rilievo.

In collaborazione con l'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale (AIxIA), il laboratorio ha promosso un'iniziativa di mappatura dell'offerta didattica universitaria sull'intelligenza artificiale. Il report del 2023 costituisce una preziosa fonte documentale, sia per la comunità scientifica, sia per la visibilità dell'ampia e qualificata offerta formativa nel settore.

Il Laboratorio AIIS ha sviluppato numerosi progetti in ambito nazionale e internazionale, partecipando alle principali reti finanziate dalla Unione Europea nell'ambito dell'IA (ELISE, HUMANE-AI-NET, TAILOR) ai progetti ELSA e SOLARIS e al Digital Innovation Hub ARTES 5.0. Il Laboratorio ha inoltre collaborato con il CNR alla proposta del Partenariato Esteso FAIR del PNRR, svolgendo un ruolo di coordinamento della componente universitaria.

Il laboratorio è impegnato oggi in accordi di collaborazione con istituzioni – tra cui l'Agenzia per l'Italia Digitale (AGID) e il Garante per la Protezione dei Dati Personali (GPDP) – e con associazioni di imprese di settore quali ANITECH-ASSINFORM. Il particolare rilievo recentemente assunto dalle problematiche sulla regolamentazione dei sistemi di intelligenza artificiale ha portato all'approvazione da parte del Parlamento Europeo, il 13 marzo 2024, del quadro normativo sull'intelligenza artificiale (AI-Act).

L'obiettivo dell'AI-Act è assicurare che i sistemi di intelligenza artificiale utilizzati all'interno dell'Unione Europea siano completamente in linea con i diritti e i valori dell'Unione, garantendo, anche attraverso apposite certificazioni, il controllo umano, la sicurezza, la privacy, la trasparenza, la non discriminazione e il benessere sociale e ambientale dei cittadini europei. Il laboratorio ha aderito a UNINFO e contribuisce alle

Acronimo	Evento	Laboratorio Nazionale	Anno prima edizione CINI
Ital-IA	Convegno Nazionale CINI sull'Intelligenza Artificiale	Artificial Intelligence and Intelligent Systems	2019
ITADATA	Italian Conference on Big Data and Data Science	Data Science	2022
ITASEC	Italian Conference on Cybersecurity	Cybersecurity	2017
IWES	Italian Workshop on Embedded Systems	Embedded Systems and Smart Manufacturing	2021
ITADINFO	Convegno ITALiano sulla Didattica dell'INFORmatica	Informatica e Scuola	2023
I-CITies	Italian Conference on ICT for Smart Cities and Communities	Smart Cities and Communities	2015
BlgHPC	Conferenza annuale BlgHPC	High Performance Computing: Key Technologies and Tools	2023

Tab. 4 I principali eventi nazionali co-organizzati dai Laboratori CINI.

attività di definizione di standard di certificazione dei sistemi di intelligenza artificiale che permetteranno di rendere operative le prescrizioni e le verifiche dell'AI-Act.

Nel 2024, la direzione del laboratorio è stata assunta da Carlo Sansone (Università di Napoli Federico II).

Laboratorio Nazionale Competenze, Formazione, Certificazioni (CFC)

A cura di Giuseppe Pirlo e Marco Ferretti, direttore ed ex direttore del Laboratorio CFC

Il Laboratorio CFC è stato istituito per portare il contributo della comunità accademica informatica alla filiera Competenze Digitali-Formazione-Valutazione-Certificazione-Abilitazione, collaborando con i vari livelli del sistema formativo (Regioni, Stato, Europa) e con gli stakeholder del mercato. La direzione è stata affidata dapprima a Marco Ferretti dell'Università di Pavia, seguito dal 2021 da Giuseppe Pirlo dell'Università di Bari, Aldo Moro.

Nel corso degli anni il Laboratorio CFC ha partecipato alle iniziative europee che, a vario titolo, hanno affrontato il problema della definizione delle competenze digitali, esaminando e sperimentando in particolare i rapporti fra mondo universitario e mercato. Un secondo aspetto dell'attività ha riguardato la correlazione tra la formazione accademica e le esigenze delle aziende, nonché il rapporto tra titolo di studio e certificazioni informatiche.

I due filoni più rilevanti delle attività del laboratorio, nei primi anni, sono stati la sperimentazione dello schema di certificazione denominato EUCIP (European Certification for Information Professionals) e la collaborazione con le organizzazioni nel

settore delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT) nell'ambito dell'Osservatorio delle competenze digitali.

Il progetto EUCIP

EUCIP è uno schema di certificazione ideato dal Council of European Professional Informatics Societies (CEPIS) che avviò, nel 1999, un programma per la definizione di uno standard delle competenze ritenute indispensabili per esercitare la professione di "specialista ICT". In Italia il programma fu affidato ad AICA. Il CINI, in base ad accordi stipulati con AICA, ha sviluppato dal 2004 al 2010 un progetto di sperimentazione della certificazione EUCIP negli atenei. Il progetto promosse il conseguimento della certificazione EUCIP da parte degli studenti universitari e dei neolaureati a condizioni particolarmente vantaggiose. Il processo di certificazione era gestito da una rete di centri di competenza Universitari coordinati da CINI e accreditati da AICA.

L'accordo ha portato allo sviluppo di contenuti formativi specifici in modo da facilitare un'offerta formativa di qualità a disposizione di tutte le sedi universitarie aderenti al progetto. Il CINI ha partecipato con AICA agli sviluppi del progetto EUCIP, contribuendo alla formulazione dei quesiti d'esame.

Lo schema EUCIP organizzava lo scibile in un syllabus articolato in un livello di base, detto core, e un livello avanzato, detto elective. Il livello core forniva solide basi per tutte le professioni legate all'ICT e una larga conoscenza degli aspetti fondamentali dell'Information Technology (IT), richiedendo un impegno di circa 400 ore di studio. Ogni discente doveva superare tre moduli (definiti Plan, Build e Operate) per ottenere il certificato EUCIP – Livello Base (EUCIP core level certificate), livello obbligatorio del programma EUCIP per professionisti ICT. Gli esami da superare per i tre moduli erano i seguenti:

Plan

Uso e gestione dei sistemi informativi. Si tratta di un'area orientata all'analisi dei requisiti in ambito ICT e alla pianificazione dell'utilizzo delle tecnologie nelle organizzazioni. È un'area connessa ai processi gestionali e alla definizione delle necessità aziendali in ambito ICT inquadrata in una prospettiva strategica. Elementi importanti di quest'area sono le nozioni di organizzazione aziendale, ritorno d'investimento, analisi dei processi, finanziamenti, rischi, pianificazione.

Build

Acquisizione, sviluppo e implementazione dei sistemi informativi. Comprende i processi di specifica, sviluppo e acquisizione di sistemi ICT. Il nodo centrale dell'area è costituito dagli aspetti dello sviluppo di sistemi informatici, implementazione, integrazione e in generale il loro ciclo di vita.

Operate

Operazioni e supporto di sistemi informativi. Riguarda l'installazione, la supervisione e la manutenzione di sistemi informatici. Include aspetti quali l'integrazione sistemistica, la gestione reti, la gestione di aggiornamenti e ampliamenti, il supporto agli utenti.

La diffusione del progetto EUCIP nei corsi di laurea triennali dell'area informatica nel periodo 2004-2007 è stata particolarmente significativa, con centinaia di iscritti e oltre 200 studenti certificati integralmente nelle tre aree. Lo studio ha evidenziato, inoltre, la buona copertura fornita dagli insegnamenti universitari per le aree di conoscenza denominate Build e Operate, mentre l'area Plan è risultata meno conosciuta dagli studenti di Ingegneria informatica e di Informatica, in quanto non coperta da insegnamenti nei piani di studio. Si tratta di risultati importanti nel rapporto tra università (con i propri corsi di studio) ed enti nazionali (AICA) ed europei (CEPIS) sul tema delle competenze e certificazioni informatiche.

Per favorire l'acquisizione delle conoscenze necessarie alla certificazione – rivolta al mondo dei professionisti e a chi era coinvolto in aziende ICT – CINI ha sviluppato materiale formativo online e ha gestito una rilevante attività di erogazione di corsi. Il materiale formativo era organizzato in più learning object (LO) formati da unit of content (UC), self test question (STQ) ed exercise (EX). In totale sono stati sviluppati 193 LO, 2 000 UC e altrettante STQ e 400 EX. Questo materiale ha dato origine a 3 422 pagine web con 725 immagini per un totale di 770 265 parole. Per ogni area delle tematiche di EUCIP Core è stato allestito un corso online e sono state erogate diverse versioni del corso, con una modalità blended che prevedeva la presenza di tutor, esperti di dominio e controller. I soli anni 2005 e 2006 hanno visto l'erogazione di nove edizioni, per un totale di 864 partecipanti. Il progetto EUCIP si concluse quando l'iniziativa di CEPIS fu inglobata nell'iniziativa eCF (European Competence Framework), che ha dato origine a uno standard europeo di definizione delle competenze per i professionisti a cui il CINI ha contribuito con alcuni progetti specifici.

L'Osservatorio delle Competenze Digitali

Una rilevante attività del Laboratorio CFC è stata la partecipazione, dal 2017 al 2019, all'Osservatorio delle Competenze Digitali, un'iniziativa congiunta delle associazioni dell'area ICT. Il laboratorio ha contribuito ad analizzare l'offerta formativa universitaria nella prospettiva delle aziende, in relazione alle loro esigenze di professionisti ICT. I principali risultati sono stati un'analisi quantitativa dei laureati sul mercato e un'analisi quantitativa dell'offerta formativa universitaria.

Più di recente il Laboratorio CFC ha rafforzato la sua capacità di agire come riferimento per istituzioni e altri enti. Un importante risultato strategico è stato l'accordo di collaborazione con la Regione Puglia del 2022 (DRG N. 659 del 11/05/2022) che sancisce che le parti cooperano, tra l'altro, per l'individuazione e lo sviluppo di azioni di coordinamento, programmazione, diffusione di buone pratiche e divulgazione nel settore del digitale e delle ICT; e per la realizzazione di progettualità congiunte negli ambiti della missione e delle aree tematiche del CINI.

Nell'ambito di tale accordo, il Laboratorio CFC partecipa a diverse attività progettuali, tra le quali si segnala il progetto Rete dei servizi di facilitazione digitale, inquadrato nell'ambito della misura nazionale 1.7.2 del PNRR del Dipartimento per la trasformazione digitale (DTD) che mira a creare 231 “punti di facilitazione digitale” nella Regione Puglia per

raggiungere, entro il 2025, con le proprie attività formative, un totale di 183 000 cittadini.

Un punto di facilitazione digitale è un luogo fisico nel quale i cittadini potranno essere supportati da facilitatori digitali nell'utilizzo di Internet e dei dispositivi digitali. Il Laboratorio CFC provvederà a svolgere attività di formazione aggiuntiva a favore dei facilitatori digitali e dei destinatari finali, tramite la progettazione e l'erogazione di specifici micromoduli ed eventi formativi in presenza o online.

L'attività di collaborazione con la Regione Puglia ha anche portato alla convenzione operativa nell'ambito del progetto strategico Sa – Empowering Governance – Interreg Ipa South Adriatic 2021-2027 (DGR. 1734/2023), per rafforzare l'efficienza della PA tramite la promozione della cooperazione giuridica e amministrativa e la cooperazione tra cittadini e attori della società civile e le istituzioni.

Di rilievo è anche l'attività del Laboratorio CFC nella progettualità per la costituzione dello European Digital Innovation Hub sulla Trasformazione Digitale Sicura della Pubblica Amministrazione (EDIH4DT), nell'ambito del PNRR, Missione 4-Istruzione e ricerca, Componente 2 (M4C2) – Dalla ricerca all'impresa, Investimento 2.3 – Potenziamento ed estensione tematica e territoriale dei centri di trasferimento tecnologico per segmenti di industria.

Il progetto che ha portato alla costituzione, nel 2023, del Consorzio EDIH4DT, ha ottenuto il Seal of Excellence europeo (un marchio di qualità che consente ai beneficiari che lo ricevono di avere accesso ad altre fonti di finanziamento sia europee che nazionali). La missione di EDIH4DT è promuovere e supportare la trasformazione digitale della PA fornendo un insieme ampio e qualificato di servizi per accompagnare le PA verso l'utilizzo di applicazioni fondate su: intelligenza artificiale (AI), high performance computing (HPC), reti di comunicazione e sicurezza informatica (CS). Il campo di applicazione dell'EDIH4DT è principalmente la Pubblica Amministrazione locale di tutta Italia.

Laboratorio Nazionale Informatica e Scuola

A cura di Enrico Nardelli, direttore del Laboratorio Nazionale Informatica e Scuola

Il Laboratorio Nazionale Informatica e Scuola del CINI nacque nel 2017 come gruppo di lavoro e fu poi strutturato come Laboratorio Nazionale nel 2019 su iniziativa di Enrico Nardelli (Università di Roma Tor Vergata) che ne è il direttore dal 2020, affiancato nel suo secondo mandato dal vicedirettore Mattia Monga dell'Università di Milano. Il Laboratorio conta oggi oltre 35 nodi e circa 90 afferenti. La sua missione si esplica tre direzioni:

- diffondere una corretta cultura dell'informatica nell'ambito della formazione scolastica;
- coordinare e sviluppare attività di ricerca e formazione in tema di didattica dell'informatica nella scuola;
- favorire una migliore conoscenza nelle scuole dell'informatica come disciplina scientifica.

Le attività del laboratorio si articolano su quattro linee operative:

- Contenuti e curriculum – per un’efficace didattica dell’informatica nelle scuole di ogni ordine e grado;
- Metodi e strumenti – per un efficace insegnamento dell’informatica (intesa come disciplina scientifica e non come strumento di supporto didattico) nei vari gradi di scuola, e per individuare strumenti di supporto;
- Formazione insegnanti – affinché ci siano docenti ben preparati all’insegnamento della disciplina in tutti i gradi di scuola;
- Divulgazione e comunicazione - per consentire all’opinione pubblica di comprendere la reale portata dell’informatica e la conoscenza delle reali necessità educative per la società digitale.

I nodi del Laboratorio hanno ricevuto finanziamenti dal MUR per lo svolgimento di attività di ricerca nella didattica dell’informatica. Ogni anno il laboratorio organizza, inoltre, il convegno ITADINFO aperto a universitari e docenti di scuola secondaria di secondo grado che raccoglie e presenta testimonianze di metodo e pratiche didattiche innovative, contributi di ricerca, esperienze e laboratori formativi sui temi dell’apprendimento dell’Informatica.

Il laboratorio gestisce il progetto Programma il Futuro in collaborazione con il Ministero dell’istruzione e del merito, per sviluppare nelle scuole di ogni ordine e grado l’insegnamento dei concetti scientifici di base dell’informatica e l’educazione all’uso responsabile della tecnologia. Il progetto, ideato da Enrico Nardelli e Giorgio Ventre, conta più di 40 000 docenti iscritti in circa il 90% degli istituti scolastici italiani. Programma il Futuro è stato premiato come migliore iniziativa nella categoria Educazione nelle Scuole, al Primo Premio Nazionale Italiano per le Competenze Digitali. Il progetto è stato anche il più votato online dal pubblico tra i 120 progetti partecipanti all’iniziativa.

Allo stesso Premio, anche il progetto Social4School, gestito da componenti del laboratorio, ha ricevuto la menzione speciale nella categoria Educazione nelle Scuole.

Nel 2022 il laboratorio è stato insignito del titolo di Campione dell’Innovazione assegnato a istituzioni, aziende e personaggi che si sono distinti per l’originalità della loro azione in qualsiasi campo, dalla Fondazione COTEC (Fig. 4) con il patrocinio del Presidente della Repubblica.

A livello internazionale, il Laboratorio Informatica e Scuola collabora con la coalizione europea Informatics for All, che ha l’obiettivo di diffondere l’insegnamento dell’informatica in tutti i livelli di scuola; inoltre, contribuisce, attraverso i suoi membri, all’organizzazione delle iniziative internazionali di promozione della formazione informatica nella scuola: *Bebras*, *European Code Week* e *International Week of Computer Science Education*.

Cybersecurity National Lab

A cura di Paolo Prinetto, direttore del Cybersecurity National Lab

Il Cybersecurity National Lab (www.cybersecnatlab.it) – per brevità, Laboratorio – è uno dei laboratori tematici del Consorzio CINI, attivato dal Consiglio Direttivo del CINI il 28 aprile 2014. Contestualmente, la direzione veniva affidata a Roberto Baldoni (Sapienza Università di Roma), che l’ha mantenuta sino al 23 dicembre 2017, quando è stato chiamato dal Consiglio dei ministri a ricoprire la carica di vicedirettore del Dipartimento delle informazioni per la sicurezza della Presidenza del Consiglio dei Ministri con delega alla cybersicurezza, e a presiedere il Nucleo per la Sicurezza Cibernetica. Alla direzione gli subentrò Paolo Prinetto.

Il Laboratorio è organizzato come una rete di nodi, dislocati presso dipartimenti di atenei italiani, enti pubblici di ricerca, centri di ricerca, centri di competenza regionali in cybersicurezza e accademie militari. Il numero di nodi attivati è praticamente raddoppiato negli anni, passando dai 35 iniziali ai 67 nel dicembre 2023, così come è raddoppiato il numero degli afferenti (oltre 900, alla stessa data, tra professori, ricercatori e dottorandi).

Le attività principali del Laboratorio hanno subito negli anni una significativa evoluzione, strettamente correlata a quella della relativa comunità a livello nazionale. Se da un lato, infatti, possiamo rilevare come queste attività siano oggi principalmente mirate alla collaborazione, in modalità diverse, alla piena realizzazione del Piano di Implementazione della Strategia Nazionale di Cybersicurezza 2022-2026, elaborato dall’Agenzia per la cybersicurezza nazionale, dall’altro lato va evidenziato come molte delle iniziative del laboratorio – di cui nel seguito si descrivono le più significative – abbiano contribuito significativamente alla crescita e all’evoluzione dell’odierna architettura di cybersicurezza nazionale.

Il 16 novembre 2015, presso la sala Zuccari del Senato della Repubblica, il laboratorio ha presentato *Il Futuro della Cyber Security in Italia* – un libro bianco per raccontare le sfide dei prossimi cinque anni, curato da Roberto Baldoni e Rocco De Nicola (IMT Scuola Studi Avanzati, Lucca) e a cui ha collaborato un gruppo multidisciplinare di cinquanta ricercatori italiani provenienti dalle più prestigiose università del Paese con l’obiettivo di raccontare le principali sfide di cybersicurezza che l’Italia si sarebbe trovata a dover affrontare nei cinque anni successivi. Il volume, oltre a concentrarsi sui rischi derivanti dagli attacchi cyber, delineava alcune raccomandazioni: preso atto che, in quel momento storico, la coscienza dell’importanza della cybersicurezza era in Italia quasi inesistente, sia nel mondo imprenditoriale sia in quello della politica, si sollecitava lo sviluppo di nuove sensibilità, capacità e strumenti per migliorare la sicurezza informatica del Paese e garantire la sicurezza dei cittadini.

Il Framework Nazionale per la Cybersecurity e la Data Protection (www.cybersecurityframework.it/framework2) la cui prima edizione – frutto di un lungo lavoro di preparazione coordinato dal nodo di Sapienza con il coinvolgimento di un gruppo di professionisti e un tavolo formato da ENI, ENEL, AON, KPMG – fu rilasciata dal Laboratorio a gennaio 2016 (in italiano e in inglese), è stato definito dalla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana come: “strumento di supporto per le organizzazioni pubbliche e private in materia di strategie e processi volti alla protezione dei dati per-



Fig. 4 La filiera completa di formazione (CyberChallenge, OliCyber, CyberTrials, CTF Workshops, CyberHighSchools) e competizioni (TeamItaly, TeamEurope) del Cybersecurity National Lab.

sonali, con specifico riferimento alla sicurezza degli stessi a fronte di possibili attacchi informatici, e alla sicurezza cyber, nonché per il loro continuo monitoraggio”.

Nel febbraio del 2017 il Laboratorio ha organizzato a Venezia la prima edizione di ITASEC (www.itasec.it), la conferenza annuale italiana di cybersicurezza, con l’obiettivo, in primis, di favorire la nascita e la crescita di una comunità tra i ricercatori accademici del settore. Negli anni, l’evento è cresciuto e attraverso le edizioni di Milano (2018), Pisa (2019), Ancona (2020), on-line a causa della pandemia Covid nel 2021, Roma (2022) e Bari (2023), è diventato la principale conferenza nazionale sulla sicurezza informatica e una fondamentale sede di confronto tra il mondo della ricerca, le aziende, la Pubblica Amministrazione e le istituzioni.

Durante la seconda edizione di ITASEC tenutasi a Milano nel febbraio 2018, il Laboratorio ha presentato il secondo libro bianco *Il Futuro della Cybersecurity in Italia: Ambiti Progettuali Strategici - Progetti e Azioni per difendere al meglio il Paese dagli attacchi informatici*, curato da Roberto Baldoni, Rocco De Nicola e Paolo Prinetto, con il supporto del Sistema di Informazione per la Sicurezza della Repubblica.

Il volume, a cui hanno collaborato oltre 120 ricercatori provenienti da circa 40 tra enti di ricerca e università, nasce come continuazione del precedente, con l’obiettivo di delineare un insieme di ambiti progettuali e di azioni che la comunità nazionale della ricerca riteneva essenziali a complemento e a supporto di quelli previsti nel DPCM “Gentiloni” sulla Cyber Security approvato il 17 febbraio 2017 in materia di sicurezza cibernetica. Il volume include anche una serie di raccomandazioni agli organi preposti per affrontare al meglio, e da Paese consapevole, la sfida della trasformazione digitale.

Nel 2017 il laboratorio si è fatto promotore, unitamente al Consiglio nazionale delle ricerche e al Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Telecomunicazioni, del Comitato Nazionale per la Ricerca in Cybersecurity con l’obiettivo di coordinare l’eccellenza nazionale degli enti fondatori nell’ambito della ricerca in cybersicurezza e di realizzare azioni di ricerca a livello nazionale e internazionale per aiutare il sistema Paese a progettare un ecosistema nazionale più resiliente agli attacchi cyber.

Nel marzo del 2017 il laboratorio ha pubblicato, con CIS Sapienza (Cyber Intelligence and Information Security), il 2016 Italian Cybersecurity Report, controlli essenziali di cybersecurity, che introduce 15 controlli che possono essere adottati da medie, piccole o microimprese per ridurre le possibili vulnerabilità presenti nei loro sistemi e per aumentare la consapevolezza del personale interno, in modo da resistere agli attacchi più comuni. Il documento fornisce anche una guida su come implementare tali controlli essenziali e propone una stima dei costi derivanti.

Sempre nel 2017, grazie all’impegno e alla visione di Roberto Baldoni e del compianto Camil Demetrescu, viene attivata, a la Sapienza Università di Roma, la prima edizione pilota di CyberChallenge.IT, competizione destinata, negli anni, a diventare la “testata d’angolo” di The Big Game, la filiera di addestramento e formazione (Fig. 4) promossa e gestita dal Laboratorio, che coinvolge giovani sia delle scuole secondarie di II grado sia dell’università, e che si inserisce oggi a pieno titolo nel Piano di Implementazione della Strategia Nazionale di Cybersicurezza 2022-2025.

L’intera filiera vanta oggi molti riconoscimenti: il patrocinio di ACN e del Garante per la Protezione dei Dati Personali (GPDP); il riconoscimento del MUR come Proget-

to per la valorizzazione delle eccellenze; il riconoscimento di Repubblica Digitale, iniziativa strategica nazionale coordinata dal Dipartimento per la Trasformazione Digitale della Presidenza del Consiglio dei ministri. Negli anni il grande gioco si è arricchito di altre iniziative, rivolte a target differenti e sempre gratuite per i partecipanti.

Dall'edizione pilota del 2017 il CyberChallenge.IT (<https://cyberchallenge.it/>) è diventato il primo programma italiano di formazione e addestramento in cybersicurezza per gli studenti delle scuole superiori e per laureandi e laureati (16-24 anni), finalizzato a ridurre in modo significativo la carenza di forza lavoro informatica in Italia, identificando, attraendo, reclutando e collocando una generazione di professionisti della cybersicurezza, a disposizione del Paese con le loro competenze.

Il programma fa crescere la comunità dei cyber-defender stimolando l'interesse per le aree STEM – soprattutto per l'informatica e l'ingegneria informatica – individuando i giovani talenti informatici e contribuendo alla loro crescita professionale; affrontando le sfide multidisciplinari del mondo reale in diversi settori della sicurezza informatica, compresi gli aspetti etici e legali sia del Red Teaming sia del Blue Teaming (vale a dire dell'attacco e della difesa). Le otto edizioni del programma, dal 2017 al 2024, hanno complessivamente registrato 29 270 iscritti e 4 550 partecipanti al percorso di formazione.

È importante evidenziare come l'attuazione del programma sia stata resa possibile grazie alla natura nazionale del Laboratorio: nessuna università italiana, nemmeno tra le più grandi, avrebbe avuto la capacità di realizzarlo in proprio raggiungendo gli attuali livelli di coinvolgimento.

Analizzando i dati dell'edizione 2020 di CyberChallenge.IT, ci si rese conto che su 2 035 studenti delle scuole secondarie di II grado inizialmente iscritti, solo 156 erano stati ammessi al programma di formazione, avendo superato tutti i passi del percorso di ammissione. L'alto tasso di fallimento era dovuto, in primis, alla competizione con studenti universitari, laureandi e laureati, con background e competenze differenti e più avanzate.

Si è così deciso, nonostante il triste imperversare del Covid, di dare vita a OliCyber – Olimpiadi Italiane di Cybersicurezza (<https://olicyber.it/>): un nuovo programma di formazione e gioco rivolto esclusivamente agli studenti delle scuole di formazione secondaria di secondo grado, con l'obiettivo di favorire e incentivare il loro avvicinamento alle tematiche e alle sfide della sicurezza informatica. Le quattro edizioni del programma dal 2021 al 2024 hanno registrato complessivamente 11 430 partecipanti. OliCyber.IT è riconosciuto dal MIUR come percorso per le competenze trasversali e per l'orientamento (PCTO) e, in modo del tutto analogo a quanto avviene per CyberChallenge.IT, lo stesso ministero lo ha riconosciuto come Progetto per la valorizzazione delle eccellenze.

Nel 2022, al fine di affrontare in modo più efficace il problema del divario di genere nel programma OliCyber.IT – evidenziato dal fatto che ancora troppo poche ragazze riuscivano a superare la selezione e ad arrivare alla fase finale o ad accedere a CyberChallenge.IT – il Laboratorio ha deciso di organizzare CyberTrials (<https://www.cybertrials.it/>) un programma di formazione e gioco aperto alle sole ragazze delle scuole secondarie di secondo grado che non richiede specifiche competenze in ingresso. Il programma, che nelle sue tre edizioni ha visto oltre 1 400 iscritte, copre diverse aree della sicurezza informatica e mira a promuovere il senso civico online e la padronanza

di diversi aspetti della vita digitale, per migliorare la sicurezza online (safety & security) delle partecipanti che così acquisiscono una comprensione generale di alcuni aspetti tecnici della disciplina. La particolarità di CyberTrials è che alle lezioni frontali si associa un gioco di ruolo “masterless” in cui le ragazze, a piccole squadre, sono chiamate a risolvere delle sfide basate su quanto appreso a lezione. CyberTrials rientra tra le iniziative riconosciute dal Dipartimento per la trasformazione digitale nell'ambito del programma Repubblica Digitale.

A partire dal 2023, per diffondere in modo sempre più capillare le attività del Big Game, il Laboratorio ha dato vita a una serie di incontri in varie regioni d'Italia, denominati High Schools CTF Workshop ai quali hanno partecipato in sei edizioni, oltre 1 250 tra studenti e professori delle scuole secondarie di secondo grado di ogni indirizzo, interessati ad approfondire i concetti basilari della cybersicurezza con un approccio pratico e pragmatico.

Un'ulteriore componente rilevante del Big Game è stata la creazione, tramite il programma CyberHighSchools (<https://cyberhighschools.it/>), di una rete di scuole superiori di secondo grado, mirata a costruire una community di professori sempre più consapevoli delle tematiche relative alla cybersicurezza e interessati ai programmi del laboratorio. Questo è stato ottenuto attraverso l'offerta di corsi di formazione specifici riservati ai professori, la condivisione di materiale didattico e di sensibilizzazione, nonché gli incontri periodici sia in presenza sia in modalità remota. Nell'aprile 2024 sono oltre 660 le scuole secondarie italiane federate, mentre oltre 1 600 professori hanno partecipato alle varie edizioni dei corsi proposti gratuitamente dal Laboratorio attraverso la piattaforma del Sistema Operativo per la Formazione e le Iniziative di Aggiornamento (SOFIA) del Ministero dell'istruzione e del merito.

Dal 2018 il Nucleo di Sicurezza Cibernetica (NSC) della Repubblica Italiana ha affidato al Laboratorio il compito di organizzare e gestire le attività di TeamItaly – la Nazionale Italiana di CyberDefender (<https://teamitaly.eu/>) – che possiamo vedere nella foto in Fig. 5; squadra che rappresenta il Paese nelle più importanti competizioni internazionali relative a vari settori della cybersicurezza, tra cui l'annuale European CyberSecurity Challenge (ECSC) organizzata dalla European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Il Laboratorio provvede alla selezione del gruppo di preparatori, composto dall'allenatore (coach), dal Team Manager (referente tecnico-organizzativo) e da uno staff di esperti. Questi hanno il compito di selezionare annualmente 20 tra i migliori partecipanti di tutte le edizioni dei programmi di addestramento organizzati dal Laboratorio in base ai risultati ottenuti nei percorsi di training e nelle competizioni, con l'obiettivo di ricercare i migliori talenti delle diverse branche della cybersicurezza.

Seguendo i criteri di ECSC, la Nazionale è formata da 10 membri della categoria Junior, tra i 14 e i 19 anni e da 10 membri della categoria Senior, dai 21 ai 25 anni. Per potersi preparare al meglio alle sfide proposte nelle competizioni internazionali cui partecipa, il gruppo viene coinvolto in un percorso di addestramento intensivo che annualmente culmina in un ritiro di una settimana. È parte integrante dell'addestramento un percorso di team building specificamente progettato. L'Italia partecipa annualmente dal 2017 a ECSC con TeamItaly e ne ha ospitato l'edizione 2024 (<https://ecsc2024.it/>) presso le Officine Grandi Riparazioni a Torino dal 7 all'11 ottobre, organizzata con-



Fig. 5 I cyberdefender del TeamItaly – squadra gestita dal CINI Cybersecurity National Lab – ricevuti a Palazzo Chigi dal Presidente del Consiglio Mario Draghi il 27 ottobre 2021. Archivio CINI.

Fig. 6 10 settembre 2024 - TeamItaly, la nazionale italiana dei cyber defender, in ritiro a Lucca prima dei campionati europei di cybersecurity ECSC2024. Archivio Cybersecurity National Lab CINI.

giuntamente dal laboratorio, dall’Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale e da ENI-SA. La competizione ECSC 24 è stata caratterizzata da un’intensa attività di preparazione e training offerta gratuitamente a livello internazionale. A titolo di esempio, al primo round del percorso OpenECSC hanno partecipato, nel marzo 2024, oltre 1 300 esperti provenienti da 80 nazioni diverse.

Dal punto di vista dell’evoluzione delle attività di ricerca – sia di base sia applicata su varie tematiche della cybersicurezza – numerosi sono stati i progetti gestiti direttamente dal Laboratorio, a partire da FilieraSicura, un progetto di ricerca triennale guidato da Roberto Baldoni e presentato a Venezia il 20 gennaio 2017 durante la conferenza ITA-SEC. Il progetto aveva l’obiettivo di fornire nuove metodologie, tecniche e strumenti per proteggere le infrastrutture critiche nazionali (quali ad esempio le reti elettriche ed idriche) e le aziende del Paese dagli attacchi informatici. Il progetto ha coinvolto otto tra le migliori università e centri di ricerca italiani e due grandi aziende, Cisco Systems e Leonardo, che hanno fornito finanziamenti, materiali, requisiti e casi applicativi reali su cui sperimentare i risultati conseguiti.

Significativo, poi, il contributo del Laboratorio a due progetti cofinanziati dalla Commissione Europea nel programma Horizon 2020 – Sparta e Finsec – aventi come referente scientifico Alessandro Armando (Università di Genova), e finalizzati, rispettivamente, alla creazione di una rete europea di competenze per la ricerca e l’innovazione sulla cybersicurezza e allo sviluppo di un approccio integrato per la sicurezza delle infrastrutture del settore finanziario.

Va pure evidenziato il ruolo chiave che il Laboratorio ha svolto come coordinatore della proposta del partenariato esteso SERICS - Security and Rights in CyberSpace, finanziato dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, Missione 4 “Istruzione e ricerca”, Componente 2 “Dalla ricerca all’impresa”.

A livello nazionale, negli anni, il Laboratorio ha siglato accordi strategici con rilevanti istituzioni pubbliche, quali l’Agenzia per la Cybersicurezza nazionale (ACN), la Direzione Nazionale Antimafia e Antiterrorismo (DNA), il garante per la protezione dei dati personali (GPDP), il Dipartimento delle Informazioni per la Sicurezza (DIS) della Presidenza del Consiglio dei Ministri, il Consiglio nazionale delle ricerche (CNR), il Centro Alti Studi per la Difesa, (CASD), il Gruppo per l’Armonizzazione delle Reti della Ricerca (Consorzio GARR) e il Consorzio AlmaLaurea.

Il Laboratorio collabora inoltre attivamente, tra gli altri, con Ministero della giustizia, alcune Procure della Repubblica, il Dipartimento della Protezione Civile, la Fondazione CRUI, il Dottorato Nazionale in Cybersicurezza (con sede amministrativa alla Scuola IMT Alti Studi Lucca), Accredia (Ente Italiano di Accreditamento) e Registro.it.

Sulla scena internazionale, il Laboratorio esordisce il 26 settembre 2017 in occasione della *Innovation Week* del G7, nella Reggia di Venaria Reale (TO), dove è stato invitato a organizzare il workshop *Securing the Digital Industrial Revolution: Can Things safely work in the wild cyber-space?* che ha visto la partecipazione di accademici e rappresentanti dell’industria ICT a livello internazionale.

Il Laboratorio ha avuto poi l’incarico di organizzare ben due edizioni dell’*IEEE European Symposium on Security and Privacy*, uno dei più prestigiosi eventi internazionali su privacy e sicurezza informatica, rispettivamente nel 2020 (edizione on-line) e nel 2022,

a Genova. La collaborazione con il Ministero degli affari esteri e della cooperazione internazionale su tematiche diverse della cybersicurezza ha portato alla partecipazione a numerosi eventi internazionali, a Londra, Washington, Roma, Doha, Repubblica Ceca, Malaysia e, nel giugno 2020, al *Multi-stakeholder Forum*, organizzato dalla G20 Digital Economy Task Force.

Il Laboratorio si pone oggi, nel panorama nazionale della cybersicurezza, come un interlocutore terzo rispetto al mercato, finalizzato alla promozione di un continuo processo di aggregazione tra strutture di ricerca e formazione, in un'ottica multidisciplinare e interdisciplinare, favorendo sinergie e attività congiunte tra ricerca pubblica, mondo imprenditoriale privato e istituzioni pubbliche, nella ferma convinzione che, per servire al meglio il Paese, occorre costruire ponti, riguardando sempre le differenze come grandi opportunità.

Dal 2024 il direttore del Laboratorio è Alessandro Armando (Università di Genova).

Laboratorio Nazionale Data Science

A cura di Claudio Agostino Ardagna e Donato Malerba,
direttore e vicedirettore del Laboratorio Data Science

Il Laboratorio Nazionale Data Science (Laboratorio DS) è stato costituito a novembre 2013 con il nome di Laboratorio Nazionale Big Data. La direzione fu affidata a Donato Malerba dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro, cui è succeduto Claudio Agostino Ardagna dell'Università degli Studi di Milano. Nel 2023, per meglio catturare l'evoluzione della società digitale verso la cosiddetta data economy, è stata approvata la modifica del nome in Laboratorio Nazionale CINI Data Science.

Il Laboratorio DS aggrega la comunità nazionale di riferimento per tutti gli aspetti che riguardano i Big Data e la Data Science, per comprendere e gestire la rivoluzione incentrata sui dati, affrontando sfide sia scientifiche, sia applicative. Il Laboratorio raccoglie competenze accademiche e industriali ed è votato alla creazione di un ecosistema che supporti le eccellenze nazionali, e al tempo stesso, rafforzi il ruolo scientifico e tecnologico dell'Italia nell'ambito della data economy in Europa e nel mondo.

Il Laboratorio ha partecipato alle attività dell'Associazione Big Data Value (Big Data Value AISBL), ridenominata Data, AI and Robotics (DAIRO) nel 2021, promossa dalla Piattaforma Europea NESSIE (Networked European Software and Services Initiative), di cui il CINI è co-fondatore. Nel biennio 2015-2016, ha fatto parte del Partnership Board della Private-Public Partnership Big Data Value. Conta 37 nodi, di cui 35 università e 2 istituti di ricerca del CNR con oltre 190 afferenti.

Il Laboratorio DS affronta il bisogno di dati nella società digitale e di tutte quelle tecnologie necessarie alla loro gestione, concentrandosi su macro-aspetti quali:

- rafforzamento della ricerca italiana nell'ambito dei dati, della data science, e di tutti i domini affini;
- creazione di una comunità scientifica che si colleghi con le politiche di innovazione gestite dai governi nazionali e regionali;

- incremento della proiezione internazionale del laboratorio attraverso il raccordo con i principali stakeholder della data innovation;
- creazione di un patto academia-industria per sostenere il ruolo strategico dell'Italia in iniziative globali, anche attraverso il trasferimento tecnologico;
- definizione di un ecosistema che permetta di affrontare le sfide della società digitale negli ambiti dove il ruolo dei dati e delle tecniche per la loro analisi e protezione sono fondamentali;
- diffusione della cultura della scienza dei dati per fornire nuova linfa al tessuto industriale e di ricerca italiano per le sfide future.

Nel Laboratorio DS converge un ampio spettro di temi di ricerca che spaziano dagli aspetti teorici e metodologici a quelli più tecnologici e applicativi. Le attività hanno carattere fortemente interdisciplinare e abbracciano, da un lato, domini prettamente informatici e, dall'altro, domini che possano beneficiare di un'adeguata gestione dei dati come, ad esempio, quelli della medicina e delle scienze della vita, del diritto e manifatturiero e turistico. Grande rilievo viene attribuito al ruolo della open science e degli open data come volano per la circolazione della conoscenza e dei risultati della ricerca. Altri temi di interesse del Laboratorio DS sono: sovranità e governo del dato, etica e affidabilità, architetture dati, preparazione e memorizzazione del dato, modellazione dei dati, integrazione e interoperabilità, elaborazione, analisi e visualizzazione del dato, sicurezza e protezione del dato, intelligenza decentralizzata (cosiddetto cloud-edge continuum), qualità e utilità del dato, certificazione e compliance.

Per favorire l'impatto delle ricerche svolte dal laboratorio in ambito industriale e a favore del sistema Paese, è stato creato un organo consultivo industriale che contribuisce alle attività del Laboratorio DS. Con la sua collaborazione è stato organizzato, a maggio del 2024, il primo evento della serie Come dare valore ai dati, il cui obiettivo è potenziare l'interazione tra il laboratorio e il mondo dell'industria. È stato inoltre creato un osservatorio sui dataspace allo scopo di monitorare le attività a livello europeo sugli European Dataspace e coordinare le attività del laboratorio all'interno di bandi di progetti europei nei domini della data science e affini.

Dal 2022 il Laboratorio DS organizza il convegno ITADATA (www.itadata.it) che mira a capire le evoluzioni nel dominio della data science abbracciando, in aggiunta all'aspetto scientifico e accademico, anche le tematiche industriali e di policy europea. ITADATA coinvolge esperti industriali, regolatori e rappresentanti di organizzazioni quali Big Data Value (<https://www.bigdatavalue.eu>), Gaia-X e FiWare e si concentra, in particolare, sulle attività svolte a livello dell'Unione europea (ad esempio European Dataspace). Dopo il successo della prima edizione ospitata all'Università di Milano nel 2022, nel 2023 l'evento si è tenuto all'Università di Napoli Parthenope e l'edizione 2024 presso il CNR a Pisa.

Il Laboratorio DS ha inoltre sviluppato numerosi progetti in ambito nazionale e internazionale, in particolare ha partecipato e partecipa a diversi bandi della Commissione Europea per il finanziamento di progetti nell'ambito della data science.

Con particolare riferimento al programma H2020, il Laboratorio DS è coordinatore del progetto TOREADOR - Trustworthy model-aware Analytics Data platform;

partner del progetto IMPETUS - Intelligent Management of Processes, Ethics and Technology for Urban Safety e partner del progetto CounteR - Privacy-First Situational Awareness Platform for Violent Terrorism and Crime Prediction, Counter Radicalisation and Citizen Protection) e partecipa ad altri progetti finanziati da Horizon Europe, European Digital Innovation Hubs, oltre a progetti nazionali finanziati da vari ministeri e dall'industria.

Laboratorio Nazionale Embedded Systems & Smart Manufacturing

A cura di Nicola Mazzocca, direttore del Laboratorio ESSM

Il Laboratorio Nazionale Embedded Systems & Smart Manufacturing (ESSM) è stato costituito nel 2016 con l'obiettivo di creare sinergia tra la rete universitaria e quella industriale per l'avanzamento della ricerca nazionale ed internazionale nel dominio dei sistemi dedicati (*embedded system*) e per favorire l'evoluzione del sistema Paese verso un'industria tecnologicamente più avanzata (Industria 4.0). La direzione fu affidata ad Antonino Mazzeo e poi a Nicola Mazzocca, entrambi dell'Università di Napoli Federico II.

La diffusione di tecnologie quali Internet-of-Things (IoT), Smart Automotive, Pervasive Computing è avvenuta solo dopo la maturazione delle tecnologie dei sistemi *embedded*, ormai sofisticate e sempre più affidabili. Integrando tecnologie software e hardware, i sistemi *embedded* consentono la riconfigurazione e il funzionamento autonomo dei componenti industriali, facilitando così la realizzazione di soluzioni più sofisticate e intelligenti. Un esempio rilevante della loro spinta innovativa è lo *smart manufacturing*, contesto applicativo in cui l'utilizzo dei sistemi *embedded* ha migliorato efficienza e produttività delle aziende manifatturiere, così come previsto dal Piano Nazionale di Innovazione Industria 4.0.

Sebbene la necessità di attuare un trasferimento tecnologico che tenga conto dell'aspetto *embedded* diventi sempre più pressante, portando la competitività industriale a sfidarsi su un nuovo modo di produrre e lavorare che velocizzi il processo lavorativo, ottimizzi i costi e il risparmio energetico, le aziende territoriali mostrano una comprensibile difficoltà nell'aggiornamento continuo di soluzioni e processi. Ciò è sintomatico di una non completa o non corretta padronanza dei nuovi paradigmi di sviluppo che i sistemi *embedded* possono abilitare.

La finalità del Laboratorio Embedded Systems & Smart Manufacturing è posizionarsi come realtà di riferimento nazionale sulla ricerca di base e applicata nell'ambito dei sistemi *embedded* e della loro applicazione allo *smart manufacturing*. Il Laboratorio mira a essere una realtà ad alto contenuto innovativo per la guidance in merito allo sviluppo e alla progettazione di tali sistemi. L'attività di alta formazione è tra le missioni del Laboratorio che, avvalendosi di figure tecniche e scientifiche altamente specializzate provenienti dal mondo accademico, riversa nel mondo industriale un ampio ventaglio di conoscenze e competenze nell'ambito dei sistemi *embedded* e delle loro applicazioni.

Altro obiettivo del Laboratorio ESSM è promuovere il trasferimento di conoscenza (*knowledge transfer*) verso varie tipologie di attori, come istituzioni regionali e nazionali,

industrie di piccole, medie e grandi dimensioni. Ogni anno il laboratorio è promotore del convegno *Italian Workshop on Embedded Systems (IWES)* per consentire lo scambio di esperienze di ricerca accademica ed industriale. *IWES* offre ai ricercatori nell'area dei sistemi *embedded* l'opportunità di presentare il loro lavoro, scambiare idee e ricevere feedback costruttivi; facilita le connessioni tra rete industriale e accademica offrendo alle aziende un luogo dove poter presentare le sfide di cui sono protagoniste; accresce la consapevolezza dell'importanza del business dei sistemi *embedded* tra gli studenti di Laurea, Laurea Magistrale e Dottorato di Ricerca in Informatica e in Ingegneria, e delle prospettive di carriera offerte dalle aziende attive nel settore.

Nel 2023, *IWES* è arrivato alla sua ottava edizione tenutasi a Firenze, durante la quale si è riscontrato un grande interesse da parte di entrambe le parti coinvolte (<https://mclabservices.di.uniroma1.it/iwes/2023>).

Tra le collaborazioni tra la rete universitaria e il mondo industriale, di particolare rilievo è quella pluriennale con Rete Ferroviaria Italiana (RFI) nell'ambito del progetto Realizzazione di protocolli standard per applicazioni ferroviarie sicure per l'analisi e la specifica di protocolli per piattaforme al massimo livello di sicurezza (Safety Integrity Level SIL 4), quali la piattaforma per il segnalamento ferroviario a terra ACC (Apparati Centrali Computerizzati) e l'apparato di bordo EVC (European Vital Computer).

Laboratorio Nazionale Smart Cities and Communities

A cura di Antonio Puliafito, direttore del Laboratorio Smart Cities and Communities

Il Laboratorio Nazionale Smart Cities & Communities è stato costituito a gennaio 2015. La direzione per il primo triennio (2015-2018) è stata affidata a Giuseppe Anastasi dell'Università di Pisa. Il laboratorio ha riscosso immediatamente un notevole interesse nella comunità scientifica nazionale, portando alla creazione di una rete di 25 nodi con oltre 300 afferenti. Dal giugno 2018 il laboratorio è diretto da Antonio Puliafito dell'Università di Messina, e conta oltre 500 tra professori e ricercatori, in 34 nodi distribuiti su tutto il territorio nazionale.

A partire dalla sua istituzione, il Laboratorio Smart Cities & Communities si è dedicato alla creazione di un ecosistema italiano delle comunità smart in cui sono confluite le competenze scientifiche, tecniche ed organizzative di tanti gruppi di ricerca sia universitari sia di aziende, con lo scopo di valorizzare le eccellenze nazionali e di rafforzare il ruolo scientifico e tecnologico nel settore delle smart cities in Italia e nel mondo.

Gli ambiti di attività del laboratorio possono essere riassunti come segue:

- la sostenibilità e l'inclusività di una città richiedono la gestione oculata delle risorse ai fini di ridurre l'inquinamento, aumentare la sicurezza, rimuovere le barriere per i diversamente abili, salvaguardare il patrimonio culturale, migliorare i servizi resi ai cittadini, favorire la partecipazione collettiva alle decisioni sullo sviluppo urbano. L'ICT svolge un ruolo chiave attraverso infrastrutture – substrato di supporto allo scambio informativo – e servizi che forniscono a cittadini e imprese il supporto per lo sviluppo sostenibile e l'adozione di modelli di economia circolare.

- La gestione della mobilità multimodale, la raccolta intelligente dei rifiuti, il monitoraggio della qualità dell'aria e delle infrastrutture di trasporto, la protezione attiva e partecipata dei beni culturali, il monitoraggio di fenomeni naturali o di calamità provocate dal cambiamento climatico, l'adozione di modelli di autoconsumo dell'energia su scala piccolo-media, l'integrazione con i processi di decisione del governo cittadino, il supporto digitale all'interazione tra i cittadini e con gli organi di governo, sono solo alcuni esempi di servizi che l'ICT può abilitare per la sostenibilità e inclusività delle città.
- Reti di collegamento wireless su scala metropolitana integrate con dorsali in fibra ottica a banda ultra-larga, infrastrutture di raccolta ed elaborazione di dati massivi in tecnologie edge-cloud con lo sviluppo di data-center cittadini, ecosistemi di servizi estendibili e scalabili ed applicazioni a supporto dei cittadini per la fruizione dei servizi costituiscono il substrato minimale di cui ogni città dovrebbe dotarsi per aspirare a diventare sostenibile e inclusiva. Tale processo di trasformazione può realizzarsi in modo compiuto solo se pubbliche amministrazioni, università, centri di ricerca e aziende cooperano in modo sinergico attraverso la costruzione di living lab dove le diverse tecnologie abilitanti sono prodotte, sperimentate e testate prima di essere messe in esercizio e dove i laboratori di ricerca, in modo integrato, possono utilizzare dati prodotti dalle città e risultati parziali ottenuti dal processo di trasformazione digitale per proporre nuove soluzioni ai problemi della vita quotidiana.

Il laboratorio costituisce oggi il riferimento nazionale per la realizzazione di un modello di sviluppo e diffusione delle best practice in ambito Smart City sul territorio nazionale, basato sull'uso di soluzioni aperte. Inoltre, opera al fine di riutilizzare le esperienze di successo presenti sul territorio, condividendole con meccanismi di riuso, così da ridurre i costi e favorire approcci uniformi, per semplificare l'accesso dei cittadini ai servizi a valore aggiunto offerti, anche muovendosi tra le città.

Tra le finalità del Laboratorio:

- realizzare un ambiente integrato reso disponibile alle amministrazioni comunali e alle aziende interessate a sviluppare e promuovere servizi al cittadino e a migliorare la qualità della vita nelle nostre realtà urbane;
- creare le condizioni per interagire con il mondo fisico (IoT), raccogliere e gestire i dati (Big Data) generati al fine di sviluppare e offrire nuovi servizi al cittadino, adottando soluzioni aperte per l'hardware, il software e i dati in modo da favorirne l'adozione, stimolando domanda e offerta di nuovi servizi e competenze;
- diffondere tale sistema a livello italiano, coprendone il territorio in maniera pervasiva. L'ambizione è quella di portare l'Italia ad assumere un ruolo guida nell'uso delle nuove tecnologie, abilitando e attirando iniziative di sperimentazione da tutto il mondo. I benefici sono più che evidenti: investire con coerenza in questo ambito significa creare un volano in grado di attrarre finanziamenti, creare le condizioni perché le nostre menti migliori non abbandonino la nostra terra, e migliorare la qualità della vita in numerosi settori (*e-health*, *e-agriculture*, monitoraggio ambientale, energia, trasporti, costruzioni eccetera);
- potenziare e consolidare una piattaforma di riferimento italiana nel settore. In tal senso, il Laboratorio ha recentemente definito un'architettura di riferimento su cui sono state mappate le competenze di tutti i nodi partecipanti così da mettere a siste-

ma le diverse competenze e offrire una soluzione quanto più completa possibile per soddisfare le esigenze delle singole amministrazioni comunali,

- realizzare Living Lab nelle diverse aree metropolitane del Paese.

Il Laboratorio organizza la conferenza annuale *I-CiTies* (ormai giunta alla sua decima edizione) che costituisce il momento di incontro più importante per la comunità nazionale di ricercatori attivi nel settore. Ogni anno oltre cento relatori prendono parte a *I-CiTies*, in buona parte provenienti dal mondo dell'industria e della PA.

Per rafforzare l'interazione tra il mondo della ricerca e quello dell'industria, il Laboratorio ha costituito, nel 2020, un *industrial board*, organismo cui prendono parte rappresentanti delle più importanti aziende del settore con cui si interagisce regolarmente, accrescendo le reciproche competenze. Sono così nate anche numerose opportunità di collaborazione in progetti sia italiani sia europei che hanno permesso di estendere l'impatto del laboratorio e la sua visibilità. In particolare, è importante evidenziare la presenza del laboratorio all'interno del progetto finanziato dal programma Horizon Europe denominato Scientific Large scale Infrastructure for Computing/communication Experimental Studies Preparatory Phase (SLICES-PP) in cui, assieme al CNR e a CNIT, il Laboratorio rappresenta l'Italia nella costituzione di una rete federata di research infrastructure e ha la responsabilità di guidare la costituzione del Laboratorio europeo su Pervasive intelligence in Cyber-Physical Systems for future society.

Il Laboratorio Smart Cities & Communities ha inoltre stipulato convenzioni di ricerca e sviluppo con numerose città italiane, europee e straniere tra le quali: Benevento, Cremona, Mirabella, Montechiarugolo, Siracusa, Torino, Tangeri. Alcune delle soluzioni sviluppate all'interno del Laboratorio sono oggi presenti in progetti di ammodernamento di importanti città quali Milano (quartiere Lorenteggio), Wolfsburg (Germania), Caltanissetta, Benevento e Siracusa. È inoltre partner di Torino City Lab, un'iniziativa della città di Torino volta a creare condizioni semplificate per imprese e altri soggetti interessati a rispondere a sfide specifiche aperte in risposta a concreti bisogni del territorio, della PA e dei cittadini, testando la propria soluzione, o idea d'impresa, in condizioni reali. Il Laboratorio dedica particolare attenzione alle attività di formazione e di diffusione della conoscenza e negli anni ha organizzato oltre 30 webinar divulgativi su argomenti inerenti alle Smart City, tenuti sia da ricercatori universitari sia da rappresentanti dell'industria. Sempre inquadrata come attività di formazione è la CINI Challenge organizzata annualmente dal Laboratorio, una sfida tra squadre di studenti delle diverse sedi universitarie nello sviluppo di soluzioni tecnologiche legate a grandi temi quali la transizione ecologica e il green deal. Il percorso si articola in un arco di 12 mesi in cui squadre locali competono tra loro e poi, attraverso un processo di valutazione a livello nazionale, si scontrano in occasione di *I-CiTies*. Le squadre che hanno superato la selezione locale sono invitate a prendere parte a *I-CiTies* e, in parallelo alla conferenza, operano per integrare la propria soluzione con quelle degli altri gruppi di studenti. Una commissione di valutazione premia le squadre che hanno prodotto i risultati migliori. La CINI Challenge è un importante momento di incontro tra studenti, docenti e rappresentanti dell'industria che contribuisce alla crescita professionale e favorisce la circolazione di nuove idee e soluzioni.

In ambito Smart City il Laboratorio rappresenta un riferimento nazionale e un interlocutore in grado di creare sinergia tra il mondo della ricerca, l'industria e la pubbli-

ca amministrazione in un'ottica multidisciplinare e interdisciplinare, favorendo attività congiunte e perseguendo opportunità di crescita comuni.

Dal 2024 il direttore del laboratorio è Eugenio Zimeo (Università del Sannio).

Laboratorio Nazionale High Performance Computing: Key Technologies and Tools (HPC-KTT)

A cura di Marco Aldinucci, direttore del Laboratorio HPC-KTT

Il Laboratorio Nazionale HPC Key Technologies and Tools (HPC-KTT) è stato costituito nel 2021 dopo due anni di incubazione come working group. La direzione per il primo triennio (2021-2024) è stata affidata a Marco Aldinucci dell'Università di Torino. Il Laboratorio ha riscosso un notevole interesse nella comunità scientifica nazionale, portando alla creazione di una rete di oltre 38 nodi (29 sedi universitarie e 7 istituti del CNR) con oltre 300 afferenti; è dotato di un comitato di gestione con 18 membri e un meccanismo di deleghe funzionali ricoperte dai componenti del comitato di gestione per gli aspetti critici del suo funzionamento: progetti finanziati, formazione, comunicazione, inclusività. Inoltre, il Laboratorio si è dotato di una mappa delle competenze dei nodi pubblicamente disponibile sul sito web CINI al fine di facilitare la costituzione di partenariati in progetti di ricerca e convenzioni.

Nell'ecosistema HPC nazionale ed europeo che si sorregge su tre pilastri – infrastrutture; tecnologie abilitanti per il calcolo; applicazioni – il Laboratorio CINI HPC-KTT si concentra sul secondo pilastro, il settore delle tecnologie abilitanti per il calcolo, proponendosi di collaborare strettamente con gli attori principali degli altri due pilastri, quali i centri di supercalcolo e i centri di eccellenza su specifici domini applicativi. Specificamente, il Laboratorio si concentra sui modelli e gli strumenti di programmazione e di esecuzione, il software di sistema, l'ingegneria del software per le alte prestazioni, la riduzione del consumo energetico, i sistemi di accesso al calcolo mediante tecnologie cloud. Strategicamente, il Laboratorio intende partecipare come attore principale alla modernizzazione del calcolo ad alte prestazioni e delle sue applicazioni.

Fin dalla sua istituzione come working group, il Laboratorio CINI HPC-KTT ha concentrato la sua attività su tre aspetti principali: i progetti di ricerca, la formazione e la costituzione di una comunità nazionale in ambito HPC fortemente connessa ai partner europei. Il Laboratorio ha attivato quattro *focus group* su temi di emergente interesse: Compute Continuum, Quantum Computing, Confidential Computing, Exascale Computing.

I progetti di ricerca

Il Laboratorio partecipa a sei progetti di grandi dimensioni finanziati dalla European High Performance Computing Joint Undertaking EuroHPC, due progetti European Digital Innovation Hub (EDIH), oltre ai progetti commissionati da industrie.

I progetti EuroHPC, che esprimono un costo totale aggregato di circa 100 milioni di euro e coinvolgono 7 diversi nodi del lab HPC-KTT, sono:

- ACROSS - HPC Big Data Artificial Intelligence cross-stack platform toward exascale (2021-2024, EC H2020 IA, EuroHPC-01-2019, <https://www.acrossproject.eu/>);
- ADMIRE - Adaptive multi-tier intelligent data manager for Exascale (2021-2024, EC H2020 RIA, EuroHPC-01-2019);
- TEXTAROSSA - Towards EXtreme scale Technologies and Accelerators for eu-ROhpc hw/Sw Supercomputing Applications for exascale (2021-2024, EC H2020 RIA, EuroHPC-01-2019, <https://textarossa.eu/>);
- EUPEX - European Pilot for Exascale (2021-2025, EC H2020 RIA, EuroHPC-02-2020, <https://eupex.eu/>);
- The European Pilot (2021-2025, EC H2020 RIA, EuroHPC-02-2020, <https://eupilot.eu/>);
- EUMaster4HPC - HPC European Consortium Leading Education Activities (2022-2025, EC H2020 RIA, EuroHPC-2020-03, <https://eumaster4hpc.uni.lu/>).

Il Laboratorio HPC-KTT partecipa anche a due progetti EDIH in ambito HPC: DAMAS, coordinato da Leonardo S.p.A. e BI-REX++, coordinato dal BI-REX competence center.

La formazione

Dal 2022 i diversi nodi del Laboratorio (in alternanza tra quelli al nord e al sud d'Italia), con la collaborazione del CINECA, organizzano annualmente una scuola estiva sui temi del HPC progettata per favorire la costituzione di una comunità nel settore.

Questo modello organizzativo consente al comitato la libertà di concentrarsi sul proporre una declinazione sempre originale della tematica HPC.

La prima edizione di giugno 2023 ha avuto come titolo High Performance Computing for Computationally Intensive and Human Sensing Applications è stata organizzata da Francesco Loporati del Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione dell'Università di Pavia con la partecipazione di 32 fra dottorandi e giovani ricercatori postdoc (a fronte di 40 domande di partecipazione). La seconda edizione, tenutasi a Trento nel giugno 2024, è stata condotta da Flavio Vella e verteva sul tema High Performance Computing and Emerging Technologies.

La comunità nazionale HPC

La costruzione di una comunità nazionale sui temi HPC è fra gli obiettivi primari del Laboratorio. Una comunità che possa essere utile per stabilire nuove collaborazioni di ricerca e moltiplicare le opportunità per i giovani ricercatori. Dal 2023 il laboratorio organizza la conferenza annuale *BigHPC* con una formula specificamente pensata per mettere in contatto i giovani di area HPC con i colleghi delle altre comunità affini.

Per questo, *BigHPC* è un evento congiunto con *ITADATA*, l'analoga conferenza del Laboratorio CINI Data Science. La prima edizione di *BigHPC2023* (Napoli, settembre 2023, presieduta da Raffaele Montella) ha riscosso grande interesse, con 162 partecipanti, 2 *keynote speaker* e 26 presentazioni scientifiche, quasi tutte di dottorandi e assegnisti di ricerca. La seconda edizione, sempre organizzata insieme alla conferenza *ITADATA*, si è svolta a Pisa nel settembre 2024 (presieduta da Patrizio Dazzi).

Laboratorio Nazionale Metodi Formali e Algoritmici per le Scienze della Vita (InfoLife)

A cura di Marco Beccuti, direttore del Laboratorio InfoLife

Il Laboratorio Nazionale CINI Metodi Formali e Algoritmici per le Scienze della Vita (InfoLife) è stato istituito nel 2013, promosso da Enrico Nardelli – che ne fu il primo direttore – con l'intento di fornire un sostegno strategico allo sviluppo delle metodologie informatiche nel campo delle Scienze della Vita; attualmente è diretto da Marco Beccuti dell'Università di Torino. L'obiettivo di InfoLife è promuovere l'integrazione tra lo sviluppo di metodologie computazionali e la loro applicazione in domini biologici e/o clinici, facilitando la collaborazione tra ricercatori informatici, biologi e medici. Questo approccio collaborativo mira a migliorare la comprensione dei sistemi biologici e a sviluppare soluzioni informatiche innovative per affrontare problemi biologici e clinici complessi. Nonostante l'informatica abbia contribuito significativamente alla rivoluzione post-genomica definendo metodologie computazionali per la gestione e analisi dei dati, i meccanismi alla base dei sistemi biologici sono ancora poco chiari. Mettere a fuoco con precisione tali meccanismi informazionali costituisce una delle sfide più impegnative che la bioinformatica affronta oggi.

Da quando è stato istituito, il Laboratorio InfoLife ha visto un costante aumento del numero di affiliati che attualmente superano i 300 membri distribuiti su 38 nodi in tutto il territorio nazionale. Le attività del laboratorio si concentrano su due dimensioni principali: quella metodologica e quella applicativa.

La dimensione metodologica comprende diverse categorie:

- formalismi e simulazione computazionale;
- metodi algoritmici, combinatori, statistici e analitici;
- computational intelligence, data mining, machine learning, network analysis and deep learning;
- sistemi complessi e proprietà emergenti;
- infrastrutture, strumenti, architetture e servizi per la bioinformatica per garantire analisi riproducibili assicurando che ogni artefatto (modelli, codice, configurazioni edati) sia rintracciabile, accessibile, interoperabile e riusabile secondo i principi FAIR dell'Open Science, e che ogni decisione presa a valle di una predizione o di un'analisi sia il più possibile equa e libera da pregiudizi (fairness delle analisi/predizioni).

La dimensione applicativa comprende le categorie:

- gestione, analisi ed integrazione di dati clinici e dati pan-omici (genoma, proteoma, trascrittoma, epigenoma, metaboloma e microbioma);
- studio dei sistemi biologici (a livello molecolare, cellulare, tissutale, organico, individuale, di popolazione, ecosistemico) con metodi e modelli computazionali; epidemiologia computazionale;
- gestione e analisi di risorse microbiche nei settori della salute, dell'agroalimentare e zootecnia, dell'ambiente e dell'energia.

Il Laboratorio ha recentemente attivato al suo interno tre gruppi tematici:

- Young InfoLife working group (younginfolife.github.io/webpage) si occupa di fornire una piattaforma per studenti, dottorandi e giovani ricercatori nel campo della bioinformatica, interessati e coinvolti nei temi trattati dal Laboratorio InfoLife. Gestito da giovani (bio)informatici, Young-InfoLife promuove il networking e la formazione dei suoi membri attraverso diverse iniziative quali l'organizzazione di eventi e conferenze, la conduzione di corsi e seminari, la pubblicazione di opportunità come tesi, progetti e posizioni lavorative, nonché la diffusione di contenuti scientifici tramite il canale YouTube dedicato www.youtube.com/@younginfolife.
- Performance working group, il cui scopo è creare una collaborazione con il CINI System and Service Quality Working Group per lavorare in sinergia su tematiche di performance legate ad aspetti di bioinformatica.
- Bioinformatics Bachelor and PhD degrees working group, creato per collaborare con il gruppo Training and Teaching della Società Italiana di Bioinformatica (BITS, bioinformatics.it/activities/education) e il Laboratorio CINI Informatica e Scuola su questioni riguardanti la didattica della Bioinformatica, specialmente a livello accademico.

A livello internazionale, il Laboratorio contribuisce, attraverso i suoi membri, all'organizzazione di workshop e scuole e alla creazione di sezioni speciali in diverse conferenze di rilievo nel campo della bioinformatica e delle scienze della vita. Queste iniziative offrono opportunità preziose per la condivisione delle ultime ricerche e lo sviluppo di collaborazioni internazionali. Inoltre, il Laboratorio sponsorizza attivamente la partecipazione dei suoi membri a conferenze di prestigio, contribuendo così a promuovere la visibilità della ricerca svolta e a facilitare lo scambio di conoscenze e idee con la comunità scientifica globale. Infine, organizza corsi specialistici che forniscono aggiornamenti sulle nuove tecnologie e metodologie nel campo della bioinformatica, consentendo ai partecipanti di ampliare le proprie competenze e rimanere al passo con gli sviluppi più recenti.

Il futuro del CINI

Con la strategia di incentrare le attività tematiche sui Laboratori Nazionali, il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica ha costituito una significativa massa critica di ricercatori su molti dei temi informatici più rilevanti per lo sviluppo del Paese: l'intelligenza artificiale, la cybersicurezza, la scienza dei dati, il calcolo ad alte prestazioni, le città digitali, l'educazione informatica scolastica, la salute digitale, i sistemi informatici industriali, gli aspetti etici, giuridici e sociali delle tecnologie digitali. Il CINI oggi evidenzia le molte eccellenze e al tempo stesso dà voce, raccoglie e convoglia i contributi e le capacità progettuali dei membri della comunità scientifica informatica nazionale, che conta oggi oltre 2 500 ricercatori distribuiti nei 52 atenei consorziati e in enti di ricerca non accademici.



Fig. 7 4 settembre 2023 - Premiati a Torino i talenti italiani della cybersicurezza. Archivio Cybersecurity National. Lab CINI.

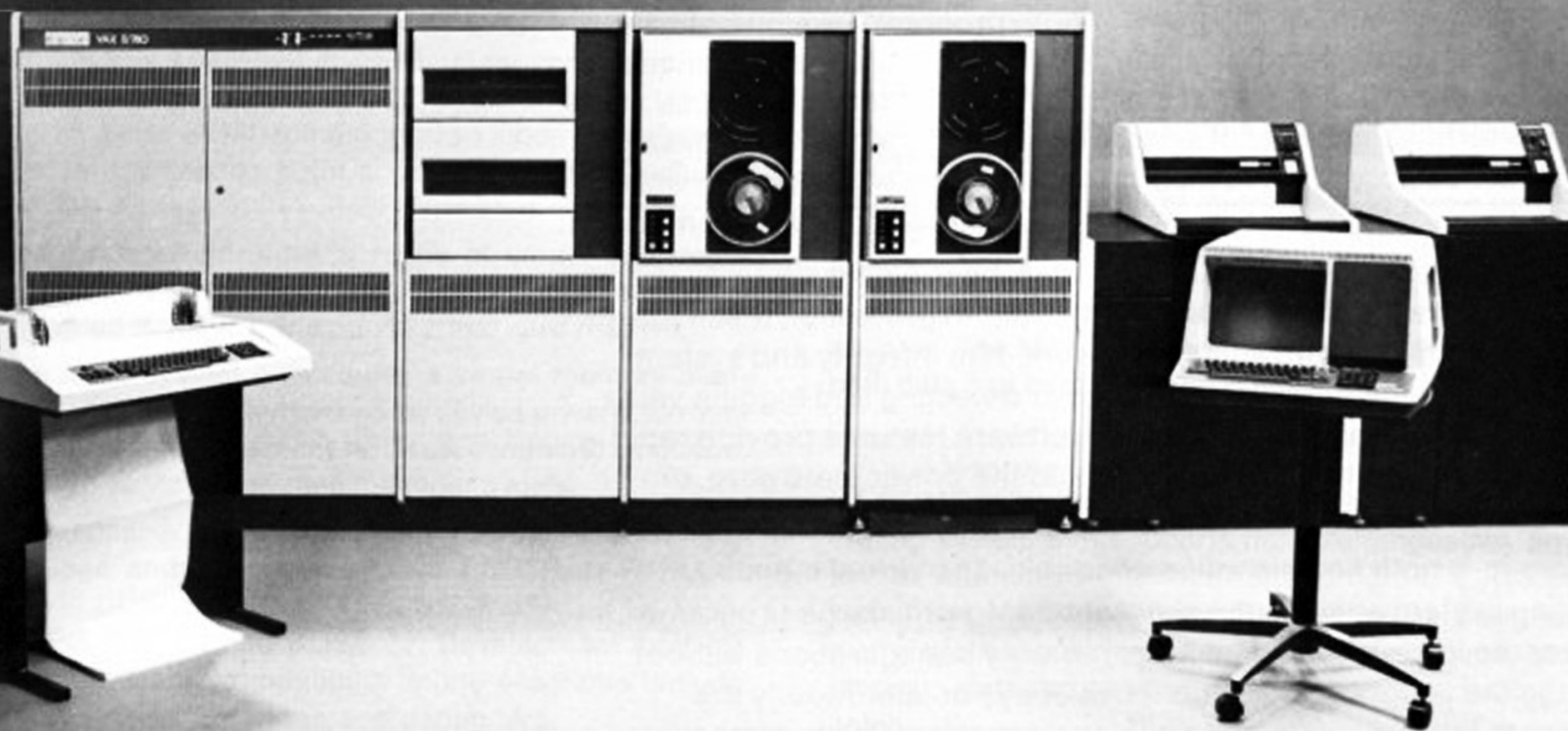
Fig. 8 14 aprile 2024 - Intelligenza artificiale, crittografia, sovranità digitale, formazione: a ITASEC24 l'accademia e l'industria discutono insieme delle nuove frontiere della cybersicurezza. Archivio Cybersecurity National. Lab CINI.

A trentacinque anni dalla sua fondazione, il consorzio ha rinnovato ancora il proprio statuto, per adeguare la governance e l'organizzazione alla sua accresciuta dimensione, per aprirsi sempre più ai contributi dei ricercatori informatici degli enti di ricerca nazionali, in aggiunta a quelli accademici, e a quelli – sulle molte comuni tematiche moderne – dei ricercatori di discipline connesse, come la robotica, l'elettronica, le telecomunicazioni, la bioingegneria elettronica e informatica. In tal modo il CINI si struttura al meglio per il ruolo che esso può ed è disponibile a svolgere al servizio del Paese, come aggregazione della comunità scientifica nazionale in informatica e in ingegneria informatica, e nelle numerose aree di interdisciplinarietà e transdisciplinarietà con altri settori.

RINGRAZIAMENTI

La storia del CINI è anche l'insieme delle storie individuali di centinaia di studiosi e ricercatori. Si desidera qui ringraziare tutti gli afferenti alle unità di ricerca nelle università, attivi nelle numerose iniziative del Consorzio e nella sua governance. Un particolare ringraziamento va alle centinaia di persone – tesisti, borsisti, collaboratori, dottorandi, ricercatori, formatori, esperti, studenti e docenti delle scuole di ogni ordine e grado – nonché al personale della struttura centrale e delle sue sedi operative decentrate, che hanno contribuito con entusiasmo alle attività del CINI in questi suoi primi 35 anni.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-33>



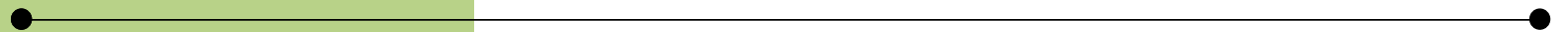


**Informatica
e società**

34

Nicola Ferro
Franco Filippazzi
Arrigo Frisiani
Viola Schiaffonati
Fabio A. Schreiber

**Le Riviste: Calcolo,
Rivista di Informatica
e Mondo Digitale**



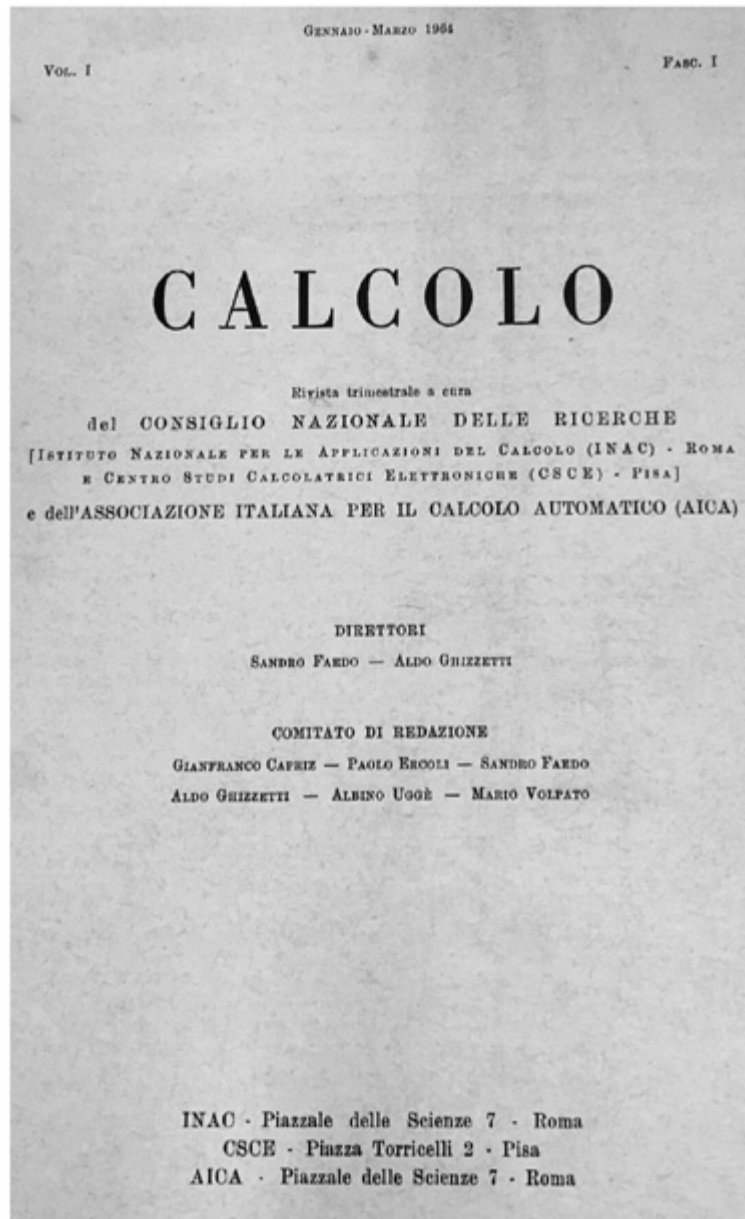


Fig. 1 Copertina del primo numero di "Calcolo", rivista trimestrale del CNR e di AICA, 1964.

Premessa

Calcolo esordisce all'inizio del 1964 in base a una convenzione tra AICA e due enti nazionali di ricerca, l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo e il Centro Studi Calcolatrici Elettroniche di Pisa.

AICA partecipa alla sua pubblicazione fino al 1970 quando non rinnova la convenzione in quanto decide di fondare una propria rivista.

A Calcolo seguiranno così la Rivista di informatica, che inizia le pubblicazioni a metà 1970 e termina a fine 2001, e Mondo Digitale che vede la luce nel marzo 2002 e continua tuttora.

Questa sintetica cronologia mette in luce il fatto che l'avvicinarsi delle riviste è venuto grosso modo a coincidere con tre periodi distinti della storia di AICA e cioè il periodo accademico delle origini, quello successivo, della maturazione e consolidamento e, infine, quello della nuova AICA, incisivamente caratterizzato dal "fenomeno certificazioni".

Calcolo

La nascita della rivista

I due direttori di Calcolo, Sandro (Alessandro Carlo) Faedo e Aldo Ghizzetti, hanno così annunciato e motivato la nascita della rivista:

In questi ultimi anni si è manifestato un imponente incremento dei servizi richiesti agli elaboratori elettronici, per scopi scientifici, industriali, aziendali, organizzativi ecc.

In seno all'AICA si è rilevato che in Italia mancava una rivista a carattere scientifico che potesse accogliere i lavori originali sul calcolo automatico e fornire agli interessati le principali notizie in tale campo.

Spesso tali lavori erano respinti dalle riviste di matematica, di fisica, di elettrotecnica, di elettronica, ecc. e talvolta venivano pubblicati su riviste non specializzate, sfuggendo così all'attenzione degli interessati.

Questa necessità di creare una rivista *ad hoc* era nel frattempo anche considerata dai due Centri di calcolo del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR): l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo di Roma (INAC) ed il Centro Studi Calcolatrici Elettroniche di Pisa (CSCE), nonché dei vari laboratori istituiti presso le Facoltà universitarie, senza peraltro che nessuno prendesse un'iniziativa in proposito, soprattutto per mancanza di mezzi finanziari.

Si è così arrivati alla realizzazione di una Convenzione tra INAC, CSCE e AICA per la pubblicazione di una rivista trimestrale denominata Calcolo.

volume 1 - numero 1 - luglio 1970

informatica

Rivista di

Organo ufficiale dell'AICA/associazione italiana per il calcolo automatico

Sommario

- 1 P. Sarraceno
Il calcolatore al servizio dell'attività
di decisione nell'impresa.
- 27 F. Serracchioli
Reti di comunicazione e terminali
nei sistemi di trasmissione dati
in tempo reale.

Notiziario

- 38 Attività dell'AICA.
- 72 Convegni, Congressi, Symposia, Conferenze ecc.
- 84 Il rapporto AICA su « La preparazione del
personale per l'elaborazione elettronica
dei dati in Italia ».

Tamburini Editore - Milano

I contenuti

Si può senz'altro affermare che nel corso dei sette anni che hanno visto la partecipazione di AICA, la rivista *Calcolo* ha pienamente risposto agli intenti programmatici sopra citati. Stanno a testimoniarlo i 165 articoli pubblicati in quel periodo. Si tratta in prevalenza di articoli di ricerca scritti da giovani studiosi che stavano allora intraprendendo brillanti carriere in Italia e all'estero. La rivista ha inoltre contribuito a dare una qualificata visibilità internazionale all'informatica italiana: 49 degli articoli di autori italiani sono scritti in inglese e, inoltre, pubblicare su *Calcolo* divenne attrattivo anche per specialisti stranieri ai quali si devono 16 lavori, pubblicati a partire dal 1967.

Tuttavia, come si è detto, dopo sei anni di collaborazione, AICA decise di non rinnovare la convenzione tripartita per pubblicare una rivista esclusivamente in proprio, cioè la *Rivista di informatica* a cui seguirà *Mondo Digitale*.

Rivista di Informatica

I primi 24 anni di Fabio A. Schreiber

Era il 1976 quando, passando per un corridoio dell'Istituto di Elettrotecnica ed Elettronica del Politecnico – oggi Dipartimento di Elettronica, Informatica e Bioingegneria – Luigi Dadda mi fermò per chiedermi se potessi occuparmi, in qualità di direttore editoriale, dell'organizzazione e gestione di *Rivista di Informatica*, l'organo dell'Associazione Italiana per il Calcolo Automatico.

Rivista di Informatica era nata nel 1970 a opera dello stesso Dadda – che ne rimase direttore responsabile – per fornire alla comunità italiana dei ricercatori di informatica una sede di pubblicazione dei loro lavori scientifici. Succedeva in questa funzione a *Calcolo*, che rimase – sotto l'egida del CNR – rivolta più strettamente ad argomenti di calcolo numerico.

Avevo qualche esperienza redazionale nell'ambito di una pubblicazione di un'associazione giovanile e quindi accettai l'incarico. La situazione che mi si presentò era abbastanza sconcertante: Tamburini – storico editore del Politecnico – aveva cessato l'attività qualche tempo prima e nei suoi depositi giacevano i manoscritti, pronti per la pubblicazione, del Vol. 5, n. 2. Si trattò quindi, innanzitutto, di trovare rapidamente un nuovo editore e di far ripartire tutti i processi per la pubblicazione. Fui aiutato, per gli aspetti burocratici e segretariali, da Carla Mazzocchi, segretaria di AICA. Il nuovo editore fu trovato a Bari, dove la casa editrice DEDALO già pubblicava riviste di divulgazione scientifica (per esempio, *Sapere*) ed era interessata a entrare nel mercato dell'Informatica.

Nel frattempo, continuavano ad arrivare contributi che dovevano essere sottoposti al giudizio dei revisori – per lo più colleghi di università o del ramo ricerca e sviluppo di aziende del settore o di enti pubblici – e, una volta accettati, venivano mandati in tipografia dalla quale ritornavano le bozze da correggere, compito che svolgevo io stesso, fino a quando non si passò a usare il sistema *camera ready* e fu un gran sollievo!

Fig. 2 Copertina del primo numero della "Rivista di Informatica", organo ufficiale dell'AICA, 1970.

Venni poi affiancato, per la parte di gestione, da Emanuela Scalzotto insostituibile collaboratrice delle attività editoriali di AICA. Nel tempo seguirono altri tre editori CELUC, MASSON e Caspa s.r.l. e si ammodernarono le tecnologie e la veste editoriale.

Questo per quanto riguarda la storia dal punto di vista editoriale, ma il vero problema di Rivista di Informatica fu sempre quello del suo posizionamento nell'ambito dell'editoria scientifica e divulgativa. Nata nei primi anni Settanta dello scorso secolo, con un taglio prevalentemente accademico, per fornire ai ricercatori italiani un palcoscenico nazionale per il loro lavoro, ben presto la rivista si trovò in competizione con le più prestigiose pubblicazioni internazionali, in particolare quelle delle associazioni inglesi e statunitensi quali BCS, ACM, IEEE e altre che garantivano una più ampia diffusione e una migliore valutazione dei contributi nelle sedi istituzionali. A questo stato di cose si cercò di porre rimedio inserendo nel comitato scientifico personalità estere, accettando quindi contributi in lingua inglese e pubblicizzando la rivista in diverse sedi internazionali.

La competizione si fece sentire anche dalla parte opposta in quanto, nei primi anni Settanta ci fu un'esplosione, in parte rientrata, di riviste di tipo hobbistico/divulgativo che, pur se un po' snobbate dall'ambiente accademico, si indirizzavano ai più giovani anche con articoli di buon livello. La tentazione da parte di qualche rappresentante di AICA di trasformare Rivista di Informatica in un organo puramente divulgativo/didattico per aumentarne l'impatto e la diffusione era quindi, in un certo senso, giustificata. Tuttavia, anche a causa di corrette valutazioni finanziarie e di mercato, la linea della rivista non subì cambiamenti di rilievo nel corso degli anni. Peraltro, le pubblicazioni scientifiche originali lasciarono progressivamente spazio ai primi lavori di giovani ricercatori e a una divulgazione di alto livello. Un sintomo di questa tendenza sta nel fatto che l'andamento nel tempo del numero di lavori sottomessi era chiaramente correlato ai bandi per concorsi a posizioni nell'università o nel CNR. Nel 1993, il tasso di accettazione dei contributi si attestò attorno al 45%.

Oltre alla parte scientifica, la rivista ha ospitato alcune rubriche quali, ad esempio, recensioni di volumi, avvisi di congressi, seminari e altre. Abbastanza deludente è stato invece il contributo dei gruppi di lavoro AICA nel segnalare i risultati delle proprie attività.

Nel 1993, dopo 18 anni di un'attività che mi ha dato anche notevoli soddisfazioni, avendo assunto nuove responsabilità all'interno del Politecnico, lasciai il compito di direttore editoriale al collega Arrigo Frisiani.

Gli ultimi nove anni di Arrigo Frisiani

Alla fine del 1993 l'allora Consiglio direttivo centrale dell'AICA mi nominò direttore editoriale della Rivista di Informatica.

Avevo già avuto esperienze con la Rivista avendone presieduto per otto anni, dal 1979 al 1986, il Comitato scientifico. Tuttavia, sostituire Fabio Schreiber, che aveva saputo pilotarla attraverso tante difficoltà organizzative e metodologiche, non si presentava facile. In ogni caso, mantenni invariata la linea editoriale della Rivista che, ricordo, mirava a presentare innanzi tutto lavori originali di ricerca nonché riflessioni critiche (*review*) e sistematizzazioni a scopo didattico (*tutorial*) di aree emergenti. Erano sempre bene accetti

anche altri contributi, per esempio rapporti da aziende e da utilizzatori sulle loro esperienze. Rimase invariata la possibilità di sottoporre contributi sia in italiano sia in inglese. Per tenere conto dell'evoluzione del settore, procedetti a una ristrutturazione del Comitato scientifico, che aveva il compito di eseguire o pilotare la revisione dei contributi sottoposti alla Rivista, e ne assunsi la presidenza. Emanuela Scalzotto accettò di affiancarmi per continuare a gestire, con grande competenza e professionalità le attività editoriali.

Purtroppo, gli sviluppi non furono incoraggianti. Da un lato, come sopra evidenziato, la concorrenza di riviste più prestigiose dirottava verso di esse i contributi dei ricercatori più maturi; dall'altro continuarono a mancare sia *review* e *tutorial* sia contributi di provenienza non accademica, nonostante la presenza tra i soci AICA di case costruttrici, ditte di software, società di servizi e utilizzatori. Purtroppo, a nulla servirono gli inviti ripetutamente avanzati a questi soci non accademici dai vari presidenti dell'AICA.

A ridurre ulteriormente anche i contributi dei giovani ricercatori italiani sopraggiunse una crisi finanziaria che obbligò l'AICA a ridimensionare le proprie attività. Pertanto, a partire dal 1996, i fascicoli della rivista passarono da quattro a tre all'anno, riducendo il numero di pagine annue, e anche le date di pubblicazione dei fascicoli subirono proroghe e divennero irregolari. Diminuirono così i lavori pubblicati e si allungarono i tempi di pubblicazione. L'incremento di contributi di ricercatori stranieri non compensò la mancanza di quelli italiani.

Alla luce di questa situazione, alla fine del 2001 il Consiglio direttivo dell'AICA decise di terminare la pubblicazione e di dare il via a una rivista che meglio rispondesse alle esigenze dei soci e dei lettori ai quali voleva rivolgersi. Nacque così Mondo Digitale.

Mondo Digitale

Dal 2002 al 2015 di Franco Filippazzi

Mondo Digitale è il titolo allusivo dell'attuale rivista di AICA. La sua pubblicazione è iniziata nel 2002, quando era presidente dell'associazione Giulio Occhini. Chi scrive è stato il direttore della rivista dal primo numero e negli anni successivi sino alla fine del 2015, quando è subentrata nell'incarico Viola Schiaffonati (docente al Politecnico di Milano) che dirige tuttora la rivista.

Obiettivo della pubblicazione è far conoscere i progressi delle tecnologie informatiche e le loro applicazioni a un ampio numero di lettori: manager, professionisti, studenti. Una rivista dunque di divulgazione, accessibile al non specialista e tuttavia rigorosa.

Ogni articolo vuole essere una vera e propria monografia sul tema scelto, che ne illustri i vari aspetti e faccia il punto sullo stato dell'arte in materia con un'esposizione rigorosa ma non riservata agli addetti ai lavori. Questo obiettivo è rinforzato da supplementi allegati a singoli numeri della rivista che sono delle monografie su temi di ampio interesse. Si può dire che la rivista abbia un significativo ruolo nel panorama editoriale italiano di informatica.

Tutti i numeri pubblicati sono accessibili in rete a partire dall'indirizzo:
<https://mondodigitale.aicanet.net>

Fu sempre nei corridoi del Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria del Politecnico di Milano che, qualche anno fa, Fabio Schreiber mi fermò per chiedermi se fossi interessata a parlare con Franco Filippazzi e Giulio Occhini, allora direttori rispettivamente di Mondo Digitale e di AICA, in merito alla direzione di Mondo Digitale. All'epoca avevo scritto un articolo per la rivista, ma le mie frequentazioni con AICA erano state, di fatto, nulle provenendo da un'area disciplinare – quella della filosofia della scienza e della tecnologia – apparentemente molto lontana dai temi dell'associazione. Eppure, quando incontrai Filippazzi e Occhini trovai in loro una notevole apertura e un sincero interesse per i miei temi di ricerca (la filosofia dell'informatica nell'accezione più ampia del termine), nonché una certa lungimiranza nell'accogliere una prospettiva eccentrica che avrebbe potuto dare nuova linfa a Mondo Digitale, un *unicum* nel panorama editoriale italiano.

Con il fondamentale supporto di Filippazzi, fu deciso di mantenere, pur tra mille difficoltà (solo in parte mitigate dall'insostituibile supporto redazionale di Gustavo Canti), l'impostazione originaria della rivista: offrire a un pubblico colto, ma non specialistico, articoli di rassegna critica nell'ambito delle tecnologie dell'informazione.

Negli anni sono stati introdotti diversi cambiamenti, molti con l'obiettivo di ampliare gli ambiti di riflessione, mostrando il decisivo impatto delle tecnologie dell'informazione in diversi settori del sapere e della società. Per esempio, abbiamo creato il numero speciale di fine anno che, attraverso un articolo di ampio respiro, tratta di temi informatici all'intersezione con altre discipline, come la filosofia, la storia, le neuroscienze o l'etica. Oppure, abbiamo concepito, insieme ai loro curatori, nuove rubriche (*Ada e le altre*, *ArtAttach*, *Le parole dell'informatica*) tese a mettere in luce in modo semplice e accattivante aspetti dell'informatica ancora troppo poco discussi.

Dopo alcuni anni, è evidente che le sfide già messe in luce in questo capitolo permangono e, in un certo senso, sono ulteriormente esacerbate da nuove modalità comunicative votate, da un lato, alla velocità e dall'altro, alla crescente specializzazione. In questo panorama, inoltre, l'inglese è diventata la lingua franca della comunicazione scientifica e l'uso dell'italiano può sembrare anacronistico. Tuttavia, è proprio davanti a queste sfide che Mondo Digitale deve porsi oggi, in maniera innovativa e creativa, con l'obiettivo di guadagnare nuovi lettori, soprattutto fra i più giovani. Comunicare in modo rigoroso e accessibile i risultati di una disciplina in costante evoluzione come l'informatica è diventato ancora più importante perché questi risultati hanno un impatto sempre più profondo sulla vita dei singoli e della società. Scegliere di privilegiare l'italiano significa anche coltivare la nostra lingua come strumento di comunicazione scientifica adattandolo alle evoluzioni terminologiche e concettuali.

1. <https://doi.org/10.54677/MNMH8546>

Era ormai l'epoca post-Covid ma, purtroppo, ancora caratterizzata da incontri più virtuali che nei corridoi dei dipartimenti, quando all'inizio del 2022 fui contattato da Giuseppe Mastronardi per esplorare la possibilità che assumessi la responsabilità del Comitato Scientifico di Mondo Digitale. Dopo aver ascoltato i pareri e i consigli di altre persone di grande esperienza, sia in generale che in AICA – Maristella Agosti, Floriana Esposito, e Fabio Schreiber – fui onorato, ma anche un po' trepidante, nell'accettare la proposta.

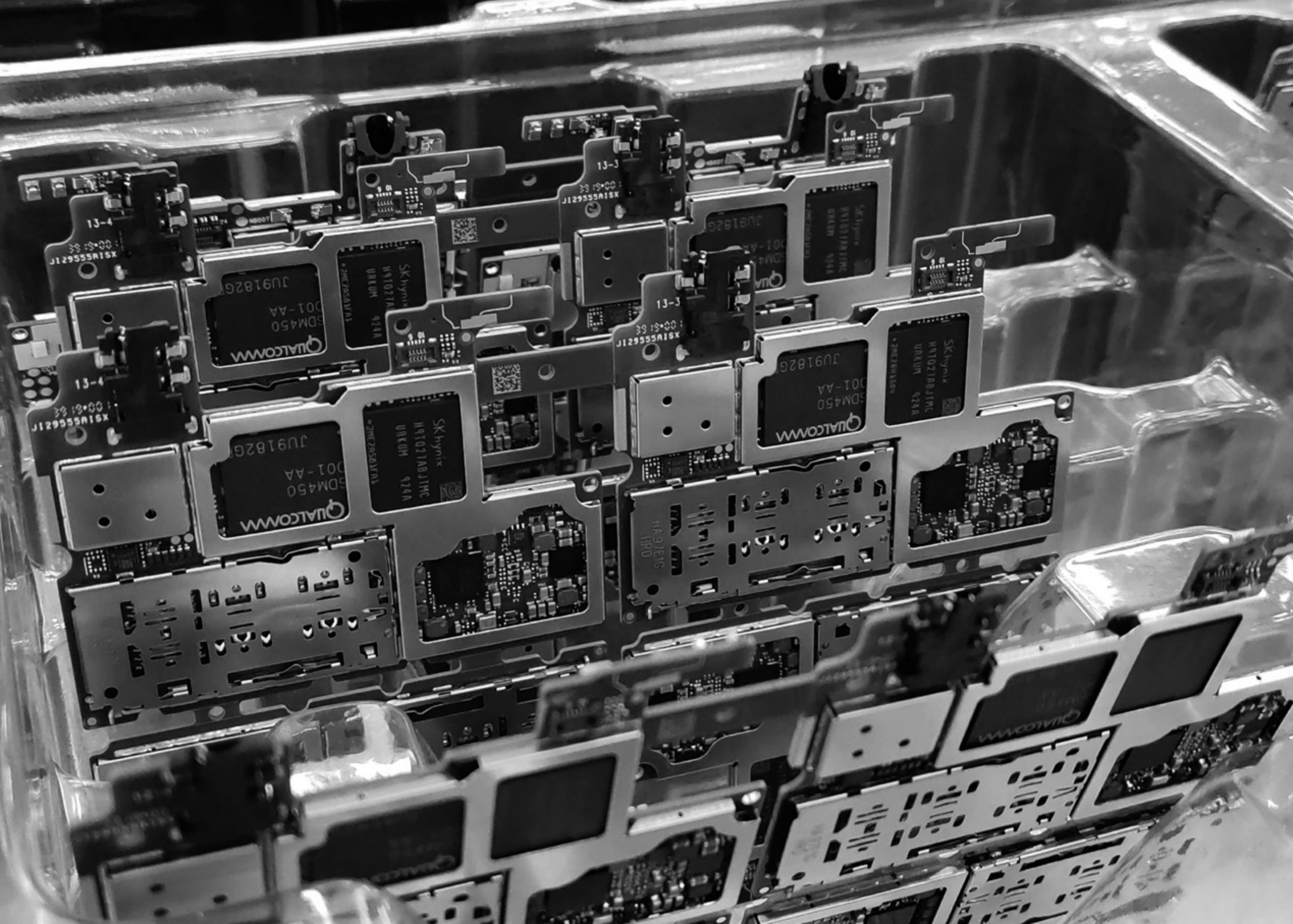
La linea editoriale della rivista è rimasta fedele alla sua impostazione originaria e, come ben illustrato in precedenza da Franco Filippazzi e Viola Schiaffonati, è stata ulteriormente arricchita con rubriche e iniziative volte a mantenere Mondo Digitale aggiornata e vicina alle esigenze – anche anticipandole – di tutti i suoi lettori. Resta però una domanda sottesa a tutto questo lavoro e impegno cui, forse, è bene rispondere in modo esplicito: perché una rivista come Mondo Digitale è importante oggi ma, soprattutto, lo sarà domani?

Per rispondere a questa domanda è sufficiente considerare l'esempio di una delle innovazioni più recenti, che stanno cambiando radicalmente l'orizzonte sia della ricerca che dell'industria e della società: l'intelligenza artificiale generativa. ChatGPT (*Chat Generative Pre-trained Transformer*) è stato annunciato a fine novembre 2022 e, da allora, c'è stata un'incredibile accelerazione non solo nello sperimentare possibili utilizzi di questo tipo di tecnologie ma anche nel ventilarne mirabolanti applicazioni, portando spesso l'intelligenza artificiale generativa sulle prime pagine dei giornali. Pur essendo estremamente positivo che una tecnologia così innovativa susciti grande interesse e coinvolgimento nella società e nell'industria, occorre però avere la possibilità di comprenderne appieno l'effettivo funzionamento, le notevoli potenzialità ma anche le intrinseche limitazioni, al fine di favorirne un utilizzo appropriato ed evitando abusi e malintesi nelle sue applicazioni. In questo contesto – ma si tratta solo di un esempio di un ruolo più generale – Mondo Digitale può continuare a offrire il proprio contributo nel mediare tra quanto validato e sperimentato rigorosamente nel settore della ricerca e quanto compreso o richiesto dalla società e dall'industria, aiutando a compiere scelte informate e ben ponderate. Esempi di recenti contributi di Mondo Digitale su questi temi sono l'articolo di Giuseppe Attardi "Il Bello, il Brutto e il Cattivo dei LLM" (Vol. 101, pp. 16, giugno 2023) oppure l'articolo di Giorgio Buttazzo "Coscienza Artificiale: implicazioni per l'umanità" (Vol. 100, pp. 18, aprile 2023).

In effetti, il ruolo di Mondo Digitale descritto sopra ben si inquadra nel contesto della Scienza Aperta e nel contribuire a quanto la raccomandazione dell'UNESCO definisce

la creazione di un nuovo paradigma che integri nella ricerca e scoperta scientifica pratiche atte a favorire la riproducibilità, trasparenza, condivisione e collaborazione risultanti da una maggiore apertura dei contenuti scientifici e dei loro strumenti e processi... facendo sì che questa maggiore apertura porti a un'accresciuta trasparenza e fiducia nell'informazione scientifica e rinforzi la caratteristica fondamentale della scienza come una specifica forma di conoscenza, basata sull'evidenza e sulla validazione rispetto alla realtà, alla logica, e allo scrutinio di esperti e ricercatori.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-34>



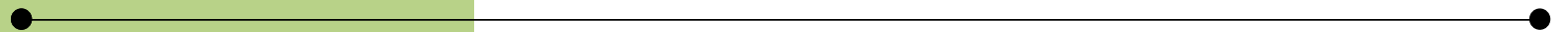


**Informatica
e società**

35

Carla Petrocelli

**Specchi di storia dell'informatica.
Il dibattito storico negli
atti dei congressi AICA**



Premessa

L'Associazione Italiana per l'Informatica e il Calcolo Automatico (AICA) ha svolto, nei suoi anni di vita, un ruolo di rilievo nel mondo dell'informatica italiana, diventando luogo di confronto tra il mondo della ricerca e quello della formazione, tra fruitori e fornitori di apparecchiature e di servizi informatici. Costituita il 4 febbraio del 1961 con una denominazione priva dell'attuale riferimento all'informatica, l'Associazione Italiana per il Calcolo Automatico¹ è stata sin dall'inizio specchio di "quell'atteggiamento dell'epoca nei riguardi dell'aspetto più affascinante delle apparecchiature che oggi chiamiamo informatiche, cioè la capacità di "calcolare" in modo "automatico"².

Come accade per la maggior parte delle associazioni scientifiche e tecniche, anche per AICA uno dei principali veicoli di comunicazione verso i soci e verso il mondo esterno, oltre alle riviste che hanno svolto il ruolo di organo ufficiale, è stato quello della pubblicazione degli atti dei convegni di carattere nazionale e internazionale e delle giornate di studio dei gruppi di lavoro. Benché nata per iniziativa, e con la partecipazione prevalente, di esponenti dell'ambiente accademico, già dall'anno della sua costituzione AICA ha promosso l'organizzazione di convegni proprio con l'intento di svolgere il suo ruolo di punto di incontro tra il mondo accademico, quello dell'industria informatica e quello degli utilizzatori³. Tuttavia, se nei primi 12 anni questi incontri sono stati prevalentemente a tema specifico, l'Associazione si è poi orientata verso manifestazioni con un largo spettro di argomenti che hanno assunto le caratteristiche di veri e propri congressi. Nel corso del tempo, il congresso AICA è diventato un appuntamento sempre più atteso che ha consentito confronti tra gli addetti ai lavori, ma ha anche offerto agli studiosi un'occasione per presentare i risultati delle loro ricerche e permesso, più in generale, a tutti i partecipanti di cogliere utili indicazioni sull'orientamento degli sviluppi tecnologici e applicativi.

Proprio in uno di questi convegni tenutosi a Siena dal 10 al 12 settembre del 1991, Laura Toti Rigatelli, direttrice del Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Siena, si era interrogata sulla necessità di disporre di fonti bibliografiche dedicate alla storia dell'informatica, cercando soprattutto di focalizzare il momento in cui la cultura italiana aveva manifestato la necessità di disporre di una letteratura di riferimento su questo argomento⁴.

1. Nel 1983, la parola "calcolo" non è sembrata più rappresentativa delle attività dell'Associazione, ritenute più adatte a rientrare nell'area informatica; ciò ha spinto a modificare la denominazione aggiungendo la specifica "per l'Informatica", ma non modificando la sua sigla. Questa variazione andava a sottolineare anche che il termine "informatica" era entrato nell'uso comune della lingua italiana, oltre implicitamente a riconoscerne una sua più ampia diffusione.

2. Italiani, Mario. 1991. "30 anni di A.I.C.A." In *Convegno internazionale sulla storia e preistoria del calcolo automatico e dell'informatica, Siena (Italy), September 10-11-12*, 174.

3. AICA. 1987. *Informatica in Italia. Una retrospettiva dalle origini al 1970*, 61.

4. Toti Rigatelli, Laura. 1991. "Presentazione." In *Convegno internazionale*, cit., 1.

In verità, già nel 1987, Corrado Bonfanti, coordinatore del gruppo di lavoro AICA di Storia del Calcolo Automatico, nell'introduzione al volume dedicato all'Informatica in Italia, aveva affermato che

conoscere e coltivare le proprie radici, la propria storia, costituisce un momento di maturazione culturale indispensabile al consolidarsi di qualsiasi disciplina: il Calcolo Automatico e l'Informatica non fanno eccezione.

Bonfanti aveva, inoltre, segnalato che sarebbe stato auspicabile raccogliere sistematicamente

epistolari, quaderni di ricerca, applicazioni, manuali tecnici, software, rapporti tecnici non pubblicati o a circolazione ristretta, valutazioni economiche e di mercato, contrattualistica, materiale pubblicitario, brevetti, ecc...⁵

per far sì che nel settore del calcolo automatico e dell'informatica ci fosse uguale sensibilità rispetto ad analoghi centri esteri che dedicavano già da tempo ampio spazio ai temi legati alla storia, nella consapevolezza che l'interesse verso una panoramica retrospettiva avrebbe decretato uno stretto collegamento tra i "fatti che si avvicinano all'oggi" e quelli avvenuti nel passato⁶.

Facendo tesoro di questo insegnamento e con l'intento di condurre una ricerca di approfondimento storico, si vogliono qui indicare le fasi di cambiamento che ha attraversato l'informatica italiana, collocandole di volta in volta nei diversi scenari sociali, tecnologici, di avanzamento dell'innovazione, segnalati straordinariamente proprio nelle pubblicazioni relative agli eventi nazionali e internazionali che AICA ha organizzato a partire dal 1961.

I temi trattati nei preziosi volumi degli incontri AICA (che sono riuscite a recuperare nella quasi totalità, almeno per gli indici) possono essere visti come un lievito culturale dal quale sono germogliate e maturate linee di ricerca, o addirittura, scuole di pensiero dedicate alla riflessione storica sulle discipline informatiche. Sono temi che rappresentano uno specchio di quei cambiamenti che sono stati, di volta in volta, i fronti di avanzamento dell'innovazione sia nel passato recente, che in quello meno recente, attraverso i quali si riesce a comprendere come sia cambiata la sensibilità verso la storia dell'informatica nel corso del tempo.

5. Bonfanti, Corrado. 1987. "Introduzione." In *Informatica in Italia*, cit., 7.

6. *Ivi*, 9. Bonfanti si riferisce alle prestigiose associazioni statunitensi ACM (Association for Computing Machinery), che incarnava un'anima più teorico-matematica, e alla Computer Society dell'IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), che rappresentava invece quella ingegneristico-applicativa.

Le attività dei Gruppi di Lavoro (GdL)

L'elencazione degli eventi AICA, nella sua scarna essenzialità, costituisce una documentazione quasi fotografica dell'informatica al passare del tempo, un volto che cambia in continuazione, assumendo via via nuove e inedite sembianze. Delle centinaia di eventi organizzati da AICA dalla sua fondazione a oggi – una decina all'anno e quasi tutti accompagnati dalla pubblicazione degli atti o di apposite monografie – basta scorrerne i titoli per avere un'idea non solo dell'incessante e straordinaria evoluzione delle ICT, ma anche di quei temi che nelle diverse fasi evolutive erano attuali e ricorrenti per poi andare via via verso una rarefazione che ne ha implicato un inevitabile esaurimento.

Il ciclo è continuo e inarrestabile ed è comunque incardinato nella rapida obsolescenza di tutto ciò che gravita nell'universo chiamato "informatica": l'esaurirsi di uno di questi temi lascia inevitabilmente il posto ad altri del tutto nuovi e impreveduti. È, tuttavia, altrettanto immediato riscontrare l'ininterrotta attenzione di AICA verso quegli argomenti che maggiormente caratterizzano l'associazione (formazione, didattica, professioni, ecc.), affrontati con ottiche e strumenti sempre al passo col mutare degli scenari tecnologici.

Esaminando la denominazione dei gruppi di lavoro in seno ad AICA, riconosciamo una forte corrispondenza con l'evoluzione delle tecnologie informatiche negli anni. Solo per fare qualche esempio, il grande interesse manifestato nei primi anni Sessanta in Italia verso alcuni linguaggi di programmazione presentati in quel periodo alla comunità internazionale, ha sollecitato la costituzione di gruppi di lavoro su Cobol e Algol 60, costituiti nel 1962 e successivamente confluiti in un gruppo più ampio definito Linguaggi programmatici⁷. Ancora, il cambiamento di denominazione del gruppo di lavoro formatosi nel 1965 sul Calcolo analogico e ibrido, poi rimodulato in Simulazione mediante calcolatori nel 1971, ha rappresentato quella presa d'atto del tramonto dei calcolatori analogici a fronte dell'affermazione di quelli digitali.

Tra questi, il gruppo sulla Storia del Calcolo Automatico, istituito dal consiglio direttivo AICA il 27 settembre 1983 ora denominato Storia dell'Informatica, è quello che si è fatto promotore di tante delle iniziative di AICA volte a coltivare e divulgare la memoria storica dell'informatica con speciale riguardo alle vicende italiane e ai contributi che il nostro Paese ha dato in campo teorico, tecnologico e industriale. Nel già citato convegno internazionale sulla *Storia e preistoria del calcolo automatico* tenutosi a Siena nel 1991, l'Università di Siena, proprio accogliendo una proposta di AICA, conferì la laurea *ad honorem* allo scienziato tedesco Konrad Zuse, contribuendo a divulgare il suo importante apporto rimasto oscuro finanche in Germania per via della guerra⁸. Vale la pena segnalare, in aggiunta, che si invitarono a questo incontro studiosi di spessore internazionale, quali Pierre Mounier-Kuhn, Martin Campbell-Kelly, Doron Swade, solo per citarne alcuni.

7. Tra le pubblicazioni AICA, vi è anche la traduzione italiana del *Report on the Algorithmic Language ALGOL 60* curata da Bruno Fadini nel 1962, punto di riferimento per molti studiosi italiani di linguaggi di programmazione, soprattutto in relazione a una certa terminologia tecnica che in Italia veniva utilizzata per la prima volta. Fadini, Bruno. 1962. *Report on the Algorithmic Language ALGOL 60*. Napoli: Libreria Editrice Traverso.

Grazie alle preziosissime testimonianze dei protagonisti, negli atti del 1991 viene ricostruito il percorso che, nel volgere di pochi mesi a cavallo tra il 1954 e il 1955, ha segnato l'avvio dell'informatica in Italia⁹: Luigi Dadda con la descrizione de "Il centro di Calcoli numerici e l'introduzione delle discipline informatiche al Politecnico di Milano", Enzo Aparo con "Mauro Picone e l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo", Franco Denoth con "CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana): dal CSCE all'IEI"¹⁰.

A segnalare l'incessante attenzione alla storia del calcolo, va fatta anche menzione del convegno sull'interazione uomo-macchina tenutosi a Sorrento dal 31 maggio al 2 giugno del 1971 – momento di riflessione sulla nascente intelligenza artificiale – e quello del 1994, tenutosi a Palermo dal titolo *Aspetti storici ed epistemologici dell'Informatica*.

Le manifestazioni nazionali

Prima di avviare l'attività organizzativa legata ai congressi nazionali, AICA aveva già sperimentato l'utilità di promuovere questi eventi grazie alle manifestazioni di rilievo nazionale riguardanti il *Dibattito sulla formazione dei programmatori* tenutosi a Bologna il 27 maggio del 1961, il *Convegno sui linguaggi simbolici di programmazione* tenutosi a Pisa il 20 e il 21 gennaio del 1962, e il *Convegno sui programmi di utilità* tenutosi a Bologna il 26 maggio del 1962.

Tuttavia, il primo *Congresso di Bologna* del 1963 fu comunque un evento di elevato impatto culturale. Scorrendo gli interventi dei relatori italiani e stranieri, si rileva, che, rispetto alle 81 relazioni presentate, 47 sono a firma di Aziende dell'ICT (di cui 26 di Olivetti e 16 di IBM), 10 di Centri di calcolo universitari, 8 di utenti della Pubblica Amministrazione, 7 di istituti del CNR e di enti pubblici di ricerca. Si può inoltre riscontrare il declino dei calcolatori analogici, con appena due relazioni dedicate a tale argomento¹¹.

Proprio in queste pagine si registra un primo riferimento nel gergo degli informatici dei neologismi hardware e software che ricorrono per ben tre volte negli atti del primo congresso del 1963!

8. Zuse aveva realizzato tre modelli sperimentali (Z1, Z2, Z3), costruiti dal 1936 al 1942, smontati o distrutti nei bombardamenti di Berlino. Il modello successivo, Z4, era programmabile, binario, ma elettromeccanico. Rojas, Raúl. 2002. "The Architecture of Konrad Zuse's Early Computing Machines." In *The First Computers. History and Architecture*, a cura di Raúl Rojas, e Ulf Hashagen, 237-61. Cambridge (MA): MIT Press.

9. Il Politecnico di Milano si era dotato di un CRC 102 acquistato negli Stati Uniti presso la NCR (National Cash Register), a Roma, presso l'INAC (Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo) era stato acquistato il calcolatore Ferranti Mark I* (FINAC) e all'Università di Pisa si era costituito il Centro Studi Calcolatrici Elettroniche (CSCE) che aveva dato l'avvio al progetto CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana). Bonfanti, Corrado. 2004. "Mezzo secolo di futuro. L'informatica italiana compie cinquant'anni." *Mondo Digitale*, 3: 48-68.

10. In *Convegno internazionale*, cit., rispettivamente pp. 7-46; pp. 47-56; pp. 103-16.

11. Occorre qui precisare che il calcolo analogico ebbe un ultimo colpo di coda in occasione del Convegno AICA di Padova del 1965 che aveva come tema centrale proprio il "Calcolo analogico. Realtà e prospettive." AICA. 1987. In *Informatica in Italia*, cit., 59-64.



I° Congresso A. I. C. A. 1963

Palazzo del Podestà.

Bologna, 19-22 Maggio 1963

Fig. 1 Locandina del primo Congresso AICA, Bologna 19-22 maggio 1963, AICA: I primi cinquant'anni, 2011, p. 14.

Nei congressi AICA i temi sono sempre stati strettamente legati all'innovazione tecnologica e all'innovazione nella società. A un primo approccio di lettura pare dunque stonato, se non addirittura contraddittorio, che siano state inserite iniziative il cui taglio, quasi a contrasto, fosse di tipo retrospettivo. A ben guardare esiste, invece, un chiaro legame di continuità tra l'innovazione, nel senso generico del suo significato, e i cosiddetti fronti d'avanzamento dell'innovazione nel passato recente e in quello meno recente, anche di epoche sorprendentemente remote. Tuttavia, a prescindere dal possibile contrasto con le iniziative portate avanti da AICA si è sempre riconosciuto che comprendere e coltivare le proprie radici, la propria storia, costituisce un momento di maturazione culturale indispensabile al consolidarsi di qualsiasi disciplina e che il calcolo automatico e l'informatica non ne costituiscono sicuramente eccezione.

Questa attenta visione al passato ha indubbiamente contribuito al successo delle iniziative nazionali promosse da AICA, successo rafforzato anche dalla natura itinerante delle manifestazioni che hanno visto non soltanto il coinvolgimento delle sezioni territoriali, ma anche e soprattutto la collaborazione con le università locali. Tra le iniziative di maggior impegno e successo va ricordata la mostra fotografica e documentale allestita in occasione del congresso tenutosi a Roma nel 1984, la mostra dal titolo *Rassegna Storica del Calcolo Automatico e dell'Informatica* allestita come manifestazione collaterale al congresso annuale di Trento del 1987, gli incontri di Gallipoli del 1993, di Palermo del 1994, di Cagliari del 1995, nei quali, tra le sessioni scientifiche, non si è mai tralasciata quella dedicata alla *Storia dell'Informatica*¹². In riferimento alla mostra del 1987, occorre evidenziare la sua ampia ricaduta culturale, dato il grande interesse manifestato non solo dai partecipanti al congresso, ma dal coinvolgimento massiccio del mondo della scuola oltre che da un pubblico di appassionati. A differenza di quanto fatto a Roma nel 1984, dove si era scelto di esporre solo documenti e fotografie, nella rassegna storica di Trento era stata disposta un'esauriente raccolta di strumenti di calcolo e di volumi specializzati che affrontavano l'argomento in senso complessivo, non circoscrivendolo alle sole vicende italiane. Ci pare, questo, un evidente segnale di maturità verso questi temi e una costante attenzione di tutto il mondo AICA, e in particolare del gruppo di lavoro *Storia del Calcolo Automatico*, a superare le difficoltà e i limiti registrati solo pochi anni prima.

Se nei primi decenni di vita dell'associazione, per le attività legate alle manifestazioni nazionali ci si soffermava, più che altro, su tutto ciò che era collegato all'arco tecnologico e applicativo dell'ICT, a partire dal 1985, la connotazione cambiò. Si scelse di concentrarsi su un tema centrale di ampio respiro – solitamente annunciato già nel titolo – e di affrontarlo da diversi punti di vista, ovvero approfondendone anche gli aspetti economici, etici e sociali, illustrati e dibattuti con l'intervento di esperti. Si trattava, cioè, non solo di sviscerare il tema da un punto di vista tecnico/scientifico, ma anche di ampliarlo grazie al coinvolgimento di competenze provenienti dal mondo della politica, dell'economia e della cultura in generale. Scorrendo i titoli di questi eventi nazionali

12. Preme sottolineare che sono qui riportati alcuni dei più significativi eventi organizzati da AICA nel corso di questi anni. Sarebbe dispendioso e anche fuori dagli obiettivi che ci si propone di perseguire in questo contributo, elencarli e commentarli tutti.

e dei relativi Atti editi AICA, si incontrano temi che vanno dalla “Società dell’Informazione” a quello sulla “Tecnologia, Innovazione e Società”, dalla “ICT, Globalizzazione e Localizzazione” a quelli legati alla “Cittadinanza e democrazia digitale”¹³.

Conclusioni

La visibilità di AICA a livello mondiale ha fatto sì che importanti manifestazioni internazionali si tenessero nel nostro Paese. Il più volte citato convegno di Siena del 1991 ha certamente segnato un punto di svolta sotto il profilo organizzativo: la partecipazione di specialisti provenienti da numerosi Paesi esteri (Inghilterra, Francia, Stati Uniti, Germania, Ungheria, Austria) si è resa possibile anche grazie alla fitta rete di rapporti che il gruppo di lavoro Storia del Calcolo Automatico, guidato in maniera eccellente da Corrado Bonfanti, aveva laboriosamente intessuto a livello internazionale con i più noti studiosi di questa materia. Per l’Italia si trattava di un’occasione del tutto nuova; in aggiunta, le testimonianze dei protagonisti e dei testimoni attivi delle vicende italiane hanno dato l’avvio a una tradizione nazionale arricchendo la letteratura con fonti inedite che hanno registrato gli esordi e i primi sviluppi di questa nuova scienza italiana. Ci si riferisce principalmente alle vicende legate al Politecnico di Milano, alla FINAC, alla CEP e al Laboratorio Elettronico Olivetti.

Gli atti dei convegni AICA rappresentano dunque testimonianze dirette dei protagonisti che la storia l’hanno fatta e l’hanno scritta e che sono stati intercettati dagli organizzatori degli eventi. Rappresentano un vastissimo bacino di riferimenti storici che comprende, tra l’altro, anche un attento sguardo alla nascente intelligenza artificiale e non trascurava affatto il ruolo da protagonista interpretato dall’Italia per quel che riguarda la linguistica computazionale. Pioniere italiano, padre Roberto Busa ha raccontato trent’anni di lavoro in questo campo proprio in uno di questi incontri, un lavoro iniziato producendo ed elaborando una quantità immane di schede perforate, passando, nel corso degli anni, a supporti e sistemi sempre più avanzati¹⁴.

Va in aggiunta sottolineato che AICA si è fatta promotrice, a partire dal 2005, di una inedita iniziativa rivolta al mondo accademico (sia docenti che studenti), che prevedeva l’attivazione di corsi universitari sulla Storia dell’Informatica, richiamando così l’attenzione su questo importante filone nel bagaglio culturale degli informatici. Per tre anni accademici, a partire dal 2005-2006, il progetto ha coinvolto ben dodici atenei, che sono stati individuati nelle facoltà di Scienze e di Ingegneria.

AICA è stata dunque punto nevralgico italiano (e non solo) nell’attività di ricerca e di divulgazione in un campo che poteva essere sottovalutato o addirittura non considerato affatto. La storia dell’informatica, così come è stata trattata da AICA, non ci ha solo fornito documenti preziosi, ma ha incuriosito, informato e sensibilizzato non solo la comunità degli informatici, ma anche un più vasto pubblico di non addetti ai lavori.

13. Bonfanti, Corrado, Franco Filippazzi, e Giulio Occhini, cur. 2011. *Attraverso le rivoluzioni informatiche. AICA: i primi cinquant’anni*. Milano: AICA, 14.

<https://www.aicanet.it/documents/10776/99159/Monografia-50anni-AICA.pdf>

14. Busa, Roberto. 1991. “Cinquant’anni a ... ‘bitizzar’ parole.” In *Convegno internazionale*, cit.: 71-84.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare Elisabetta Benetti, che con la pazienza e la dedizione che la contraddistinguono ha messo a disposizione il materiale consultato in possesso di AICA.

BIBLIOGRAFIA

- AICA. 1976. *Atti del Congresso Annuale 1976*. Milano 27-29 ottobre 1976. Bari: Edizioni Dedalo.
- AICA. 1980. *Atti del Congresso Annuale AICA '80*. Vol. I. 20-31 ottobre 1980. Palazzo dei Congressi, Bologna.
- AICA. 1981. *1961-1981. Congresso Annuale AICA*. Vol. I. Pavia 23-25 settembre 1981.
- AICA. 1983. *Atti del Congresso Annuale*. Vol. I. Napoli 28-30 settembre 1983.
- AICA. 1984. *Atti del Congresso Annuale*. Vol. I, Vol. II. Roma 24-26 ottobre 1984.
- AICA. 1985. *Atti del Congresso Annuale*. Vol. I, Vol. II. Firenze 9-11 ottobre 1985.
- AICA. 1985. *Sessione speciale. “Ausili informatici per disabili.”* Firenze 9-11 ottobre 1985.
- AICA. 1986. *Atti del Congresso Annuale. XXV dalla fondazione*. Palermo 24-26 settembre 1986.
- AICA. 1987. *Atti del Congresso Annuale*. Vol. I, Vol. II. Trento 30 settembre, 2 ottobre 1987.
- AICA. 1987. *Informatica in Italia. Una retrospettiva dalle origini al 1970*.
- AICA. 1988. *Atti del Congresso Annuale*. Vol. I, Vol. II. Cagliari 28-29-30 settembre 1988.
- AICA. 1989. *Atti del Congresso Annuale. TS89*. Vol. I, Vol. II. Trieste 4-6 ottobre 1989.
- AICA. Atti pregressuali. 1991. *Convegno internazionale sulla storia e preistoria del calcolo automatico e dell’informatica, Siena (Italy), September 10-11-12*. Accademia dei Fisiocritici, AICA, Università degli Studi di Siena.
- AICA. 1992. *Atti del Congresso Annuale*. Vol. I, Vol. II. Torino 9-11 ottobre 1992.
- AICA. 1993. *Atti del Congresso Annuale AICA '93*. Gallipoli 22-24 settembre 1993.
- AICA. 1994. *Aspetti storici ed epistemologici dell’Informatica. Atti del Congresso Annuale*. Palermo settembre 1994.
- AICA. 1995. *Informatica giuridica. Atti del Congresso Annuale*. Chia (Cagliari) 27-29 settembre 1995.
- AICA. 1996. *La Società dell’Informazione. Atti del Congresso*. Roma 25-27 settembre 1996: SIPI.
- AICA. 1997. *Internet e oltre... Atti del Congresso*. Milano 24-26 settembre 1997.
- AICA. 1998. *Il moto sulla rete. Informatica e telecomunicazioni per la società mobile. Atti del Congresso*. Napoli 18-20 novembre 1998.
- AICA. 1999. *La società dell’informazione alle soglie del nuovo millennio. Atti del Congresso Annuale*. Padova 27-29 novembre 1999. Edizioni Progetto.
- AICA. 2000. *Le Tecnologie dell’informazione e della Comunicazione come motore di sviluppo del Paese. Atti del XXXVIII Congresso Annuale*. Taormina 27-30 settembre 2000.
- Bonfanti, Corrado. 2004. “Mezzo secolo di futuro. L’informatica italiana compie cinquant’anni.” *Mondo Digitale*, 3: 48-68.
- Bonfanti, Corrado, Franco Filippazzi, e Giulio Occhini, cur. 2011. *Attraverso le rivoluzioni informatiche. AICA: i primi cinquant’anni*. Milano: AICA.
<https://www.aicanet.it/documents/10776/99159/Monografia-50anni-AICA.pdf>
- Fadini, Bruno. 1962. *Report on the Algorithmic Language ALGOL 60*. Napoli: Libreria Editrice Traverso.
- Rojas, Raúl, e Ulf Hashagen, cur. 2002. *The First Computers. History and Architecture*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprema-vol3-35>



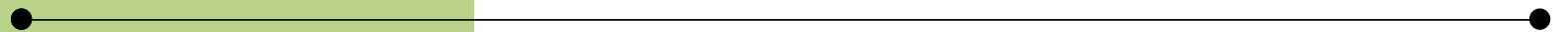


**Informatica
e società**

36

Marina Buzzoni

L'informatica umanistica



I prodromi

L'informatica umanistica è un ambito di studi interdisciplinare che nelle scienze umane prevede il ricorso a strumenti e metodi computazionali al fine di analizzare, interpretare, presentare e valorizzare dati testuali, linguistici e culturali. L'informatica umanistica in Italia ha radici profonde che risalgono lontano nel tempo¹, i cui prodromi vengono solitamente ricondotti alla figura di Padre Roberto Busa S.J. (1913-2011), gesuita e filologo noto soprattutto per l'*Index Thomisticus*, ambiziosa iniziativa progettata nel 1946 e volta a elaborare un indice completo delle opere di Tommaso d'Aquino.

L'*Index* è internazionalmente riconosciuto come l'evento che segna l'ingresso dell'automazione nel trattamento dell'informazione non numerica (Busa 1980). Padre Busa, infatti, avvia il lavoro di lemmatizzazione manualmente, ma ben presto, rendendosi conto che il compito è improbo, inizia a pensare a macchine in grado di automatizzare i processi. Nel 1949 riesce a convincere Thomas John Watson, fondatore dell'IBM, a sostenere il suo progetto. Dopo una prima fase di elaborazione meccanografica su schede perforate, Padre Busa fonderà nel 1955, a Gallarate (Varese), il Gruppo Interdisciplinare di Ricerche per la Computerizzazione dei Segni dell'Espressione (GIRCSE) prima struttura al mondo per l'automazione dell'analisi di testi, poi diventata Centro per l'Automazione dell'Analisi Linguistica (CAAL) e oggi istituzionalizzata nel Centro Interdisciplinare di Ricerche per la Computerizzazione dei Segni dell'Espressione (CIRCSE) presso l'Università Cattolica del Sacrocuore di Milano, diretto da Marco Passarotti (<https://centridiricerca.unicatt.it/circse-centro-interdisciplinare-di-ricerche-per-la-computerizzazione-dei-segni-dell-il-centro-di-ricerca>).

Il primo volume dell'*Index* viene alla luce nel 1974; a metà degli anni Ottanta si può ritenere completata la prima fase del progetto con la pubblicazione di tutti i 56 volumi che lo compongono; a ciò segue, nel 1992, il rilascio in CD-rom e nel 2005 la creazione di un sito web (<http://www.corpus-thomisticum.org>). Sebbene attorno alla figura e al lavoro computazionale di Padre Busa sia stato creato un mito fondativo – per certi aspetti anche sovrastimato come avviene per tutte le narrazioni leggendarie² – è indubbio che la realizzazione dell'*Index* abbia rappresentato un volano per tutta una serie di progetti successivi e di attività collaterali che includono, ad esempio, l'annotazione sintattica del corpus sulla base di una grammatica a dipendenze nota come *Index Thomisticus Treebank* (<https://itreebank.marginalia.it/>) e l'analisi e la processazione automatica di testi di altro genere, redatti con alfabeti diversi quali ebraico, cirillico e greco³.

1. In realtà, al netto di alcuni progetti di traduzione automatica condotti negli Stati Uniti negli anni Quaranta del Novecento, è stata proprio l'Italia a essere la protagonista degli albori di questo nuovo settore di ricerca (Orlandi e Tomasi 2023, 35; Agosti 2022, in particolare alle pp. 458-459). Si veda anche il contributo di Maristella Agosti nel volume 2.

2. Su questo tema si è espresso Tito Orlandi in una vivace intervista riportata nel volume *Computation and the Humanities. Towards an Oral History of Digital Humanities* (Nyhan e Flinn 2016, 75-86, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-20170-2_5).

3. Sull'eredità metodologica del progetto di Padre Busa si vedano Rockwell e Passarotti 2019.

L'impresa di Busa non era isolata in Italia.

Nel 1962, il prestigioso annuale *Almanacco Letterario Bompiani* (Morando 1961) – pubblicazione il cui ruolo di avanguardia nel dibattito culturale, non solo italiano, degli anni Sessanta è indiscusso – dedicava un numero monografico al tema *Le Applicazioni dei Calcolatori Elettronici alle Scienze Morali e alla Letteratura* (https://binart.eu/tape-mark-1/almanacco_letterario%20bompiani_1962.pdf).

Il volume, a cura di Sergio Morando, con copertina e schema grafico di Bruno Munari, è corredato di un apparato iconografico evocativo e altamente suggestivo e raccoglie una serie di interventi che spaziano dai fondamenti teorici delle macchine computazionali alle prime pionieristiche ricerche nel campo della traduzione automatica, in quello della linguistica computazionale (con un intervento dello stesso Padre Busa dal titolo *L'analisi linguistica nell'evoluzione mondiale dei mezzi d'informazione*), della filologia informatica (in cui accanto a nomi tradizionali, quale quello di Carlo Tagliavini, compaiono figure innovative – si pensi alla descrizione di un progetto di filologia romanza a cura di Aurelio Roncaglia) e della biblioteca elettronica (con un saggio di Stanislao Valsesia dedicato al tema dell'*information retrieval* che per molti aspetti precorre i tempi in questo ambito di ricerca).

Interessante, dal punto di vista della storia dell'informatica italiana, è notare la dichiarazione che accompagna la sezione “Elettronica e letteratura”, attestante che quest'ultima ha potuto essere completata con esempi inediti grazie alla cordiale collaborazione dell'IBM Italia e della società Olivetti alla quale, in particolare, si riconosce un genuino interesse allo sviluppo dei rapporti tra il mondo della tecnica e della produzione e quello umanistico.

La sezione “Inchiesta” è volta ad aprire un dibattito, ad oggi ancora in atto, tra le due culture⁴, attraverso interviste con figure di spicco del panorama culturale italiano dell'epoca: d'Arco Silvio Avalle, Cesare Cases, Gianfranco Contini, Giacomo Devoto, Gianfranco Folena. Non mancano, inoltre, testi di riflessione teorica e critica, come il ricco contributo di Franco Lucentini *Automatopoietica* sul tema dell'automa nella letteratura e quello conclusivo di Umberto Eco *La forma del disordine*, in cui l'autore richiama all'attenzione del lettore come l'uomo, attraverso la saggezza programmatica delle scienze esatte, si scopra “abitatore inquieto di un *expanding universe*” (Morando 1961, 187).

Da non trascurare il fatto che nell'*Almanacco* compare forse il primo esempio di letteratura digitale, ovvero il poema computazionale *Tape Mark 1* di Nanni Balestrini. Sin da quegli anni lontani, insomma, i più innovativi tra gli intellettuali italiani non solo erano consapevoli delle potenzialità delle applicazioni del calcolatore alla ricerca umanistica, ma mostravano anche una visione a un tempo plurale e teoricamente rigorosa delle prospettive aperte dall'incontro tra informatica e scienze umane.

4. Il tema è ripreso e attualizzato, tra gli altri, da Dino Buzzetti che riflette su come lo sviluppo dei sistemi di deep learning ponga a un livello epistemologicamente più avanzato il problema della possibile convergenza metodologica delle due culture tradizionalmente contrapposte (Buzzetti 2023, 18).

Gli anni Settanta, Ottanta e Novanta del Novecento

Il filosofo e linguista Silvio Ceccato (1914-1997) aveva dato vita, all'inizio degli anni Sessanta, al Centro di Cibernetica e di Attività Linguistiche presso l'Università di Milano, tra i primi in Italia e in Europa – forse il primo in assoluto – a interessarsi alla traduzione automatica dei testi oltre che al rapporto tra cibernetica e arte.

Nel 1960, presso l'Università di Padova, si laurea in Lettere Antonio Zampolli, con una tesi interdisciplinare dal titolo *Studi di statistica linguistica eseguiti con impianti IBM*, il cui relatore è il linguista Carlo Tagliavini (1903-1982)⁵. Per portare a termine il suo lavoro, Zampolli si era avvalso della consulenza di Padre Busa e degli impianti del CAAL di Gallarate (Zampolli 1960). Tra i membri della commissione esaminatrice figurano Lucio Croatto, libero docente di Foniatria della Facoltà di Medicina e Chirurgia, e Giuseppe Francini, professore straordinario di elettronica applicata alla Facoltà di Ingegneria. Non è un caso che nel 1962 Busa, Croatto, Tagliavini e Zampolli pubblicarono congiuntamente un contributo dal titolo *Una ricerca statistica sulla composizione fonologica della lingua italiana parlata, eseguita con un sistema IBM a schede perforate* nei *Proceedings* di un congresso dell'Associazione internazionale di logopedia e foniatria (Busa, Croatto-Martinolli, Croatto, Tagliavini, e Zampolli 1962).

I tempi cominciano a essere maturi per una maggiore formalizzazione della disciplina posta all'intersezione tra informatica e studi umanistici. Sulla scorta di esperienze seminali come quelle precedentemente descritte e del dibattito metodologico in corso, a cavallo tra la fine del decennio e l'inizio del successivo vengono alla luce i primi centri in cui il rapporto tra scienze umane e informatica trova una collocazione istituzionale⁶.

L'Istituto di Linguistica Computazionale (ILC) del CNR nasce a Pisa nel 1980 da un precedente laboratorio fondato pochi anni prima, nel 1978, proprio da Antonio Zampolli, direttore dal 1969 della divisione linguistica del CNUCE⁷ e diventa, ben presto, un riferimento di eccellenza a livello internazionale per il trattamento automatico del linguaggio (TAL). Sempre nell'ambito del CNR si colloca l'Istituto per il lessico intellettuale europeo e la storia delle idee (ILIESI), fondato ufficialmente nel 1970 a partire da un gruppo di

5. Maristella Agosti (2022, 459) sottolinea che questo lavoro “costituisce il primo esempio di spoglio elettronico di un testo italiano, che è *Veglia d'Armi* di Diego Fabbri. Lo studio documentato nella tesi è stato condotto a livello fonematico, morfologico e lessicale, e si proponeva essenzialmente indagini di statistica linguistica.” Ad Agosti (2022) si rinvia anche per ulteriori informazioni sull'informatica nella Facoltà di Lettere e Filosofia di Padova.

6. Tito Orlandi (Orlandi e Tomasi 2023, 36) richiama l'utilità di considerare anche la situazione infrastrutturale di quegli anni. I calcolatori personali allora apparsi (Apple, 1976; Commodore, 1977; IBM PC, 1981; Olivetti M20 e Sinclair ZX Spectrum, 1982) erano poco utilizzati per la ricerca, ambito in cui si ricorreva solitamente ai *mainframe* (Univac 1100, IBM 3090), appannaggio delle grandi strutture. È stato l'avvento dei personal computer e, successivamente, del World Wide Web a rivoluzionare capillarmente il *modus operandi* dei ricercatori.

7. Zampolli è lo studioso che forse più di ogni altro raccoglie il lascito intellettuale di Padre Busa, con il quale, a partire dall'anno della sua laurea, il 1960, aveva lavorato presso il CAAL di Gallarate svolgendo l'importante ruolo di coordinatore delle operazioni di spoglio elettronico dell'opera omnia di S. Tommaso d'Aquino. Sul CNUCE si veda anche il contributo di Domenico Laforenza nel primo volume; sull'ILC e su Zampolli si vedano, oltre al già citato Laforenza, i contributi di Luigia Carlucci Aiello e di Oliviero Stock in questo volume. A quest'ultimo si rinvia per l'origine dell'NLP in Italia.

ricerca intorno al Lessico Intellettuale Europeo (LIE) già in essere dal 1964 per iniziativa di Tullio Gregory e di Tullio De Mauro. In stretta connessione con l'esperienza dell'ILC, l'ILIESI sin dai suoi albori, si dedica alla creazione di risorse testuali in formato digitale e all'analisi lessicografica computazionale, con uno specifico interesse per la storia delle idee e per il pensiero filosofico e scientifico.

A Giuseppe Savoca, titolare della cattedra di Letteratura italiana moderna e contemporanea presso l'Università degli Studi di Catania, si deve l'istituzione del Gruppo nazionale di coordinamento del CNR Concordanze della Lingua Italiana Poetica dell'Otto-Novecento (CLIPON) i cui lavori prendono avvio nel 1977.

Agli anni Settanta appartengono anche lo spoglio dell'italiano delle origini di Mario Alinei (Alinei 1971) e gli studi di d'Arco Silvio Avalle che, presso l'Opera del Vocabolario della Crusca, lavora al lessico della poesia italiana del Duecento (Avalle 1979). L'Opera del Vocabolario si trasforma successivamente in centro di studio e poi in istituto del CNR. In previsione della pubblicazione di un *Vocabolario storico della lingua italiana*, presso l'Opera si inizia a memorizzare un *corpus* di testi italiani letterari a stampa stabilendo, per ciascuno di essi, un elenco di concordanze da sottoporre a lemmatizzazione.

Ai nomi del francese Jacques Froger e dell'ingegnere italiano Gian Piero Zarri – che raccolgono l'eredità lasciata da Henri Quentin negli anni Venti del secolo scorso (Quentin 1926) – sono legate alcune delle prime applicazioni dell'informatica in ambito ecdotico e, più in generale, alla critica del testo. Froger e Zarri informatizzano la procedura quentiniana di confronto tra i manoscritti (Froger 1968; Zarri 1969), dando vita a una linea di ricerca che esisterà molti anni dopo nella stemmatologia digitale, la quale riprende il dibattito precedente innestandolo sulle basi metodologiche della biologia evuzionistica (Barbrook 1998; Roelli 2020).

Se il sapere informatico umanistico italiano affonda le sue radici in epoche lontane, una delle sue manifestazioni teoricamente più mature si colloca negli anni Ottanta dello scorso secolo presso l'Università di Roma La Sapienza: nasce qui, infatti, l'idea dell'Informatica Umanistica come disciplina autonoma con uno specifico orientamento metodologico. La figura di punta di questo percorso intellettuale è Tito Orlandi, il quale, a partire da una serie di esperienze scientifiche e didattiche avviate negli anni precedenti, nel 1984 fonda a La Sapienza il Gruppo di ricerca “Informatica e Discipline Umanistiche”, a cui fa capo un insieme di studiosi che condividevano la “consapevolezza [...] che le procedure informatiche rappresentavano un naturale completamento delle proprie ricerche” (*Introduzione* a Gigliozzi 1987, IX).

Ciò che caratterizza questa esperienza, e che ne definisce la natura fondativa per la storia concettuale del campo, è il rifiuto di una visione strumentale dell'informatica nelle discipline umanistiche e l'accoglimento di un approccio teorico ed epistemologico di tipo computazionale. L'informatica viene intesa non come ingegneria, ma come scienza teorica della rappresentazione ed elaborazione dell'informazione. Su questo terreno risulta evidente la convergenza con le scienze umane, che si manifesta precipuamente sul piano metodologico (Orlandi 1992, 17):

il rapporto tra informatica e discipline umanistiche si può esprimere nella questione se vi sia un modo informatico di vedere (anche) le discipline umanistiche, che si differenzia a seconda

delle discipline (e che dunque, in questo caso, rappresentano l'oggetto di questa disciplina), ma che rimane unitario nel modo di considerarle. Il modo informatico prevede la formalizzazione dei dati [...] e la formalizzazione delle procedure per analizzarli e valutarli.

L'adozione di tale prospettiva ha comportato una naturale focalizzazione su aspetti teorici e metodologici quali: il problema della codifica considerata come processo semi-otico e formale (Gigliozzi 1987); la nozione di modello e modellizzazione (Gigliozzi 1992); la ridefinizione del concetto di edizione scientifica (Mordenti 2001); i fondamenti della critica computazionale e la modellizzazione formale delle strutture narrative (Gigliozzi 2008). Le idee che permeano questa fertile stagione di studi trovano una sintesi virtuosa nel noto manuale di Tito Orlandi *Informatica Umanistica* (Orlandi 1990).

Negli anni successivi, al progetto intellettuale originario viene data continuità soprattutto da due membri del gruppo romano. Tito Orlandi fonda, nel 1991, il Centro Interdipartimentale di Servizi per l'Automazione nelle Discipline Umanistiche (CISA-DU), il primo centro di informatica umanistica propriamente detto in una sede accademica italiana, e prosegue la ricerca sui fondamenti teorici e metodologici dell'informatica umanistica. Giuseppe Gigliozzi, scomparso prematuramente nel 2001, nella seconda metà degli anni Novanta fonda il Centro Ricerche Informatica e Letteratura (CRILET), dove gli studi teorici sono accompagnati da attività applicative e dalla creazione di risorse digitali. Tra i temi di ricerca principali si possono annoverare l'analisi testuale e la digitalizzazione e codifica dei testi. Quest'esperienza ha svolto un ruolo determinante per la diffusione in Italia della Text Encoding Initiative (vd. *infra*) e per la sua affermazione anche nel nostro Paese come standard di riferimento nella maggior parte dei progetti di digitalizzazione testuale (Ciotti 1997).

Contemporaneamente alla scuola romana, anche il polo bolognese emerge con forza nel panorama dell'informatica umanistica italiana; a promuoverlo è soprattutto Dino Buzzetti, dal 1982 professore di Storia della filosofia medievale e di Storia della filosofia antica all'Università di Bologna, nonché di Teoria dei cataloghi, di Storia delle biblioteche e di Informatica documentale presso la Facoltà di Conservazione dei beni culturali (1993-2001) a Ravenna. I lavori di Buzzetti, di alto profilo teorico, rappresentano un passo fondamentale verso la costruzione di una teoria dell'informazione a sostegno dell'avanzamento della conoscenza. Buzzetti ritiene che l'informazione catalografica sia sempre meno dipendente dalle attività di inventariazione, collocazione e accesso materiale ai documenti, ormai possibile in modo diretto e sempre più prossima alla rappresentazione del contenuto; insiste dunque sul fatto che il connubio tra informatica e scienze umane conduca alla definizione di un nuovo modello sperimentale e non al semplice uso strumentale del digitale. Coerentemente, con quest'impostazione metodologica Buzzetti preferisce la definizione di *Humanities Computing* a quella, più ambigua, di *Digital Humanities* affermatasi nel panorama internazionale all'inizio del nuovo millennio (vd. *infra* e Buzzetti 2023, 17).

Dalla fine degli anni Ottanta è molto attiva nel settore dell'informatica umanistica anche la Società Internazionale per lo Studio del Medioevo Latino (SISMEL) di Firenze, fondata da Claudio Leonardi nel 1978 – ma ufficialmente riconosciuta come personalità giuridica il 20 gennaio 1984. L'impegno teorico è testimoniato dai numerosi

convegni su tematiche di *Humanities Computing*, spesso organizzati in collaborazione con enti quali la Fondazione IBM Italia, ENEA Campus, l'Accademia dei Lincei, Erpanet, a cui hanno fatto seguito una serie di progetti realizzati sovente nel contesto della Biblioteca Digitale Italiana, che comprendono varie banche dati e noti archivi digitali (<https://www.sismelfirenze.it/>).

Un capitolo autonomo per status epistemologico e tipologia di applicazioni è rappresentato dalla ricerca sulle biblioteche digitali, che si interseca e dialoga costantemente con temi affrontati anche nel dominio dell'informatica umanistica quali il concetto di interoperabilità, il coinvolgimento attivo delle comunità di utenti (per esempio tramite servizi di gestione delle annotazioni digitali), lo storytelling (Agosti 2023; si veda anche il contributo di Agosti presente nel volume 2).

Gli anni Novanta sono caratterizzati da due importanti svolte con ampie ricadute sull'informatica umanistica: da una parte, una diffusione più capillare della tecnologia attraverso, ad esempio, strumenti quali i computer portatili già dotati di software applicativi, dall'altra, la rapida propagazione anche in Italia del World Wide Web, ufficialmente nato il 6 agosto del 1991, data in cui l'informatico inglese Tim Berners-Lee pubblica il primo sito web.

Il Web contribuisce alla svolta dalla computazione dei dati – tema su cui i ricercatori si erano particolarmente focalizzati nei periodi precedenti – alla rappresentazione digitale dei contenuti e alla loro condivisione.

Infine, ma non da ultimo, gli anni Novanta sono anche il periodo di ricerca di standard e modelli condivisi: l'interesse per i linguaggi dichiarativi fa da volano alla creazione di un vocabolario anche per i testi delle scienze umane. Gli standard di marcatura dovrebbero garantire l'interoperabilità, la portabilità e il riuso dei progetti che si conformano a essi (Numerico, Fiormonte, e Tomasi 2010, 128-134). All'inizio del decennio risale la prima versione della Text Encoding Initiative (TEI P1), ora giunta alla quinta *release* (TEI P5, <https://tei-c.org/>) (Fig. 1). Pur non trattandosi dell'unico standard per la marcatura dei testi, è senza dubbio il più condiviso ed è supportato dai principali software di visualizzazione, tra cui TEI Publisher e Edition Visualization Technology (EVT) (Fig. 2).

Il nuovo millennio

La storia dell'informatica umanistica italiana non si esaurisce con la creazione dei centri e dei gruppi di ricerca menzionati in precedenza. Già alla fine del Ventesimo secolo, nel campo del digitale applicato alle scienze umane si affacciano numerose altre realtà che promuovono progetti spesso derivanti da nuove prospettive di studio: ne sono un esempio la scuola degli studi ipertestuali promossa da Mario Ricciardi (Ricciardi 1994) e la realizzazione della *Letteratura Italiana Zanichelli* (LIZ), prima banca dati di testi letterari italiani, da parte di Pasquale Stoppelli ed Eugenio Picchi (Stoppelli 2005).

Con gli anni Duemila il panorama della disciplina si fa progressivamente più articolato. Un elenco – in costante aggiornamento – dei centri, laboratori e gruppi di ricerca impegnati in attività di informatica umanistica ormai attivi su tutto il territorio nazionale è rinvenibile al seguente link: <http://www.aiucd.it/centri/>.

Fig. 1 Esempio di codifica XML-TEI delle varianti d'autore del manoscritto Trieste, Biblioteca Civica Attilio Hortis, R.P. MS 1-18, 1919 [Canzoniere di Umberto Saba] (Buzzoni 2024, 161).

```
<l n="5"><app>
  <lem varSeq="2">
    <mod change="#strato-5"><add place="margin-left">fanno</add></mod></lem>
  <rdg varSeq="1">
    <mod change="#strato-5"><del rend="strikethrough">tornan</del></mod></rdg>
</app> fra noi
</app>
```

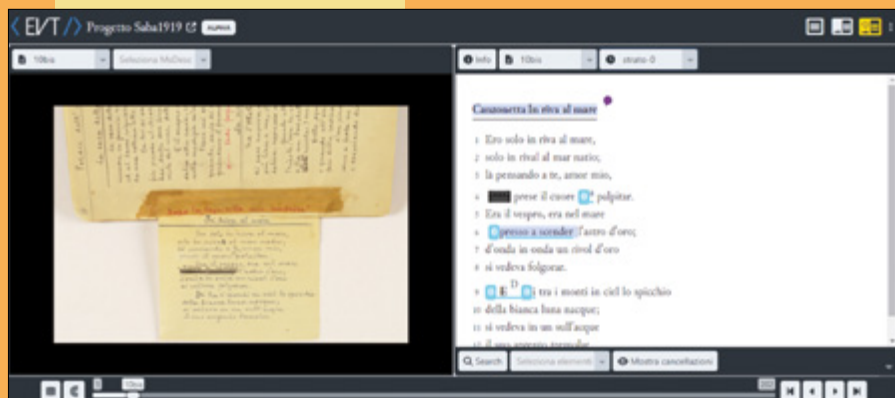
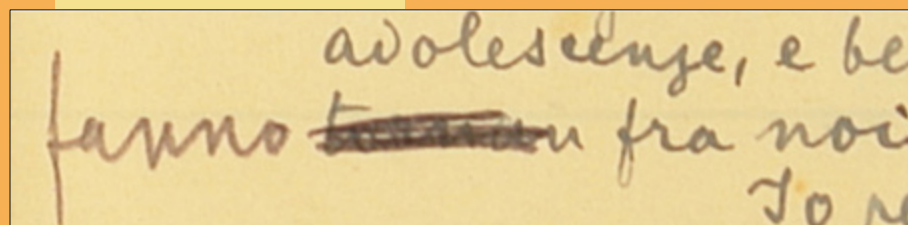


Fig. 2 Prototipo di visualizzazione dell'edizione genetica del Canzoniere 1919 tramite il software EVT che supporta la codifica XML-TEI mostrata nella Fig. 1 (Buzzoni 2024).

Anche la didattica diventa progressivamente più strutturata, a partire dalla pionieristica cattedra di Linguistica matematica costituita a Pisa per Antonio Zampolli nel 1969, in virtù della quale temi quali la lessicologia e la lessicografia computazionali fanno ufficialmente il loro ingresso nella didattica universitaria. Alla metà degli anni Ottanta (1985-86) si costituisce presso la Facoltà di Lettere e Filosofia di Roma La Sapienza un corso di perfezionamento in Informatica per le scienze umanistiche dal quale origina, nel 1994, un vero e proprio insegnamento inserito nel manifesto degli studi. Bisogna però attendere gli anni Duemila per l'attivazione del primo Corso di laurea in Informatica Umanistica, progettato presso l'Università di Pisa e varato ufficialmente nel 2002, benché frutto di esperienze precedenti, sulla base di un progetto culturale interdisciplinare tra la ex Facoltà di Lettere e filosofia e la ex Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali. Da questo momento, il numero dei corsi di studio crescerà progressivamente, anche se non sempre in modo lineare: incardinate nell'allora Classe 24/S delle lauree specialistiche biennali, in questi anni a Firenze prende avvio una Laurea specialistica in Informatica per le discipline umanistiche e così anche presso l'Università Ca' Foscari Venezia (Celentano, Cortesi, e Mastandrea 2004); quest'ultima viene presto disattivata e trasformata in un Master di I livello in Digital Humanities, sostituito a partire dall'anno accademico 2020-2021 dall'attuale Laurea Magistrale in Digital and Public Humanities che insiste sulla classe di Laurea Magistrale LM-43 – Metodologie informatiche per le discipline umanistiche, e può anche avvalersi del Venice Centre for Digital and Public Humanities (VeDPH) di recente istituzione.

Presso l'Università di Bologna prende avvio nell'anno accademico 2017-2018 la Laurea Magistrale in Digital Humanities and Digital Knowledge (DHDK), con una chiara prospettiva internazionale e un focus sul patrimonio culturale (Tomasi 2018). Negli ultimi vent'anni si registra l'apertura su tutto il territorio nazionale di numerosi ulteriori corsi di laurea triennali e magistrali in informatica umanistica, focalizzati su aspetti differenti del vasto ambito di studio; recentemente, in aggiunta alle borse di informatica umanistica all'interno di dottorati generalisti o comunque di più ampio spettro, sono stati istituiti alcuni corsi dottorali dedicati quale, ad esempio, "Digital Humanities. Tecnologie digitali, arti, lingue, culture e comunicazione" in convenzione tra le Università di Genova e di Torino (<http://www.aiucd.it/didattica/>).

Tuttavia, pur in presenza di una specifica classe di lauree magistrali, ad oggi, nel sistema universitario italiano non esiste ancora un settore scientifico disciplinare dedicato all'informatica umanistica. Questa situazione, se da un lato favorisce una maggiore interdisciplinarietà – e in parte anche una maggiore libertà nelle attività di studio – dall'altro lato rischia di rendere meno caratterizzata la didattica erogata anche in quei corsi di studio che sulla carta dovrebbero costituire il percorso formativo per eccellenza dell'umanista digitale e in cui, attualmente, insegnano docenti appartenenti ad altri settori scientifico-disciplinari. Ciò pone un serio problema di formazione dei formatori.

Riprendendo le fila della storia dell'informatica umanistica nel nuovo millennio, all'inizio degli anni Duemila si assiste a un'ulteriore trasformazione epocale di indubbia rilevanza teorica oltre che pratica, ovvero la progressiva trasformazione del web. Dopo una breve parentesi rappresentata dal Web 2.0 (O'Reilly 2004), nasce il Web 3.0 noto anche come web semantico (Berners-Lee, Hendler, e Lassilla 2001) in cui il focus, dalla

computazione, tassonomia, organizzazione e gestione dei dati delle scienze umane, si sposta sull'estrazione di conoscenza dai dati stessi. Si tratta senza dubbio di un passo significativo perché il web semantico pone l'accento sull'interpretazione del contenuto dei documenti. Negli stessi anni, i campi d'applicazione dell'informatica umanistica cominciano a coinvolgere un numero sempre più ampio di discipline: oltre agli studi di linguistica, filologia, letteratura, storia, filosofia, biblioteconomia e archeologia⁸ anche le arti figurative, la musicologia, la pedagogia, la sociologia, i media e le arti performative entrano nella galassia dell'informatica umanistica, il cui impatto culturale e sociale cresce con una velocità forse non del tutto inattesa, ma certamente sorprendente.

Nel 2004 viene pubblicato da Blackwell il *Companion to Digital Humanities* (Schreibman, Siemens, e Unsworth 2004, <https://companions.digitalhumanities.org/DH/>), considerata l'opera che inaugura una nuova definizione della disciplina: da *Humanities Computing* – etichetta che per alcuni favorirebbe un'interpretazione strumentale dell'informatica applicata ai dati delle discipline umanistiche – a *Digital Humanities*. Questa espressione inglese risulta oggi la più diffusa tra gli appartenenti alla comunità, anche se, nell'opinione di molti, è così ampia (*Big Tent Digital Humanities*)⁹ da rischiare di oscurare le basi epistemologiche della disciplina stessa¹⁰. La tradizione italiana degli studi umanistici digitali fa ancora primariamente riferimento, in modo critico e consapevole, all'etichetta di “informatica umanistica”, presente nel nome stesso dell'associazione che rappresenta e promuove questo ambito di ricerca.

L'Associazione per l'Informatica Umanistica e la Cultura Digitale

Erano le tredici e venticinque del venticinque marzo duemilaundici, – come recita a pagina 10 l'Atto costitutivo (Fig. 3) – quando un gruppo di ricercatori italiani interessati all'applicazione delle tecnologie digitali alle discipline umanistiche diede ufficialmente vita all'Associazione per l'Informatica Umanistica e la Cultura Digitale (AIUCD), sottoscrivendone lo Statuto di fronte a Carlo Speranzini, notaio in Firenze. Tra di essi figurano i primi tre presidenti di AIUCD, Dino Buzzetti, Fabio Ciotti e Francesca Tomasi, nonché due studiosi che, insieme a Buzzetti, sono stati tra gli ispiratori più attivi di quel progetto fondativo, ovvero Anna Maria Tammaro e Nicola Palazzolo. Anche l'Italia, pioniera nel settore, si era finalmente dotata di un organo il cui obiettivo principale è quello di:

8. Nota l'influenza del pensiero dell'archeologo francese Jean-Claude Gardin (1925-2013) sulla scuola italiana e sullo stesso Tito Orlandi. Negli anni Cinquanta e Sessanta del Novecento Gardin mette a punto linguaggi per l'analisi di fenomeni in campo archeologico; è considerato tra i padri fondatori dell'*archaeological computing* (Moscati 2016).

9. L'espressione, utilizzata per la prima volta nella conferenza sulle *Digital Humanities* del 2011 tenutasi a Stanford, è diventata simbolo di una comunità di studiosi che si occupano, in vario modo, dell'intersezione tra digitale e scienze umane.

10. Per un approfondimento delle tematiche teoriche, si veda Ciotti 2023, 24-29.

promuovere e diffondere la riflessione metodologica e teorica, la collaborazione scientifica e lo sviluppo di pratiche, risorse e strumenti condivisi nel campo dell'informatica umanistica e nell'uso delle applicazioni digitali in tutte le aree delle scienze umane¹¹.

Nel panorama internazionale erano già attive da tempo l'Association for Literary and Linguistic Computing (ALLC), fondata nel 1973 e divenuta European Association for Digital Humanities (EADH) nel 2012, nonché l'Association for Computer in the Humanities (ACH) fondata nel 1978. ALLC e ACH si sono successivamente consorziate nell'attuale Alliance of Digital Humanities Organizations (ADHO).

Secondo Tito Orlandi, le basi per la fondazione di AIUCD sarebbero state poste alcuni anni prima del 2011, più specificamente in occasione del Congresso di Montevarchi (Arezzo), tenutosi nel novembre del 2007 e dedicato al tema *E-laborare il sapere nell'era digitale. Strumenti e tecniche per la gestione, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio culturale in ambiente digitale* (Orlandi 2012, 49). Un successivo e importante atto del processo fondativo risale al 17 dicembre 2009, quando un gruppo di studiosi si incontrò a Firenze in quello che il report della discussione definisce “il primo incontro della rete italiana per la cultura umanistica digitale”¹². Dalla discussione emerse la necessità di fare sistema al fine di aumentare la collaborazione tra coloro che si occupavano di umanistica digitale acquisendo, così, massa critica nella ricerca e nella didattica. La via da percorrere era chiara: formalizzare l'istituzione di un'associazione. Al termine dei lavori si decise, quindi, di convocare un'Assemblea Costitutiva con il compito di definirne lo statuto, sottoscritto poi davanti al notaio Speranzini il 25 marzo 2011.

Alla firma fecero seguito le iscrizioni di socie e soci. Il 30 maggio 2011, sempre a Firenze, si tenne la prima assemblea della neonata AIUCD, in occasione della quale fu eletto il primo Consiglio Direttivo formato da:

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| 1. Agosti Maristella | 6. Palazzolo Nicola |
| 2. Buzzetti Dino | 7. Rosselli Del Turco Roberto |
| 3. Ciotti Fabio | 8. Rufino Marco |
| 4. Lana Maurizio | 9. Tammaro Anna Maria |
| 5. Meschini Federico | 10. Tomasi Francesca. |

11. Statuto AIUCD, Titolo II, Art. 3.

12. Nel report sono menzionati, in ordine di intervento: Anna Maria Tammaro (Fondazione Rinascimento Digitale - Università di Parma), Andrea Bozzi (Direttore del CNR-ILC, Pisa), Paolo Chiesa (Università di Milano), Dino Buzzetti (Università di Bologna), Edoardo Ballo (Università di Milano), Fabio Ciotti (Università di Roma La Sapienza), Matteo D'Alfonso (Università di Bologna), Alfio Ferrara (collaboratore della rivista *Informatica Umanistica*), Maurizio Lana (Università del Piemonte Orientale), Maristella Agosti (Università di Padova), Mirco Tavoni (Università di Pisa), Nicola Palazzolo (ITTIG), Filippo Briguglio (Università di Bologna), Stefano Lariccia (Università di Roma La Sapienza), Serge Noiret (European University Institute), Domenico Fiorimonte (Università di Roma Tre), Roberto Rosselli Del Turco (Università di Torino), Gino Roncaglia (Università della Tuscia), Federico Meschini (University of Exeter), Francesca Tomasi (Università di Bologna), Emiliano Degl'Innocenti (SISMEL), Emilia Masci (Scuola Normale Superiore di Pisa), Marco Calvo (Liber Liber), Francesca Di Donato (Università di Pisa), Marco Rufino (Fondazione Rinascimento Digitale).

- 10 -
Firenze, Piazzale Donatello n. 7, venticinque marzo duemilaundici.
F.to Dottor Carlo Speranzini Notaio

SEGUE TRASCRIZIONE DELL'ALLEGATO SOTTO LA LETTERA "A" ALL'ATTO
REP. 13236
STATUTO
TITOLO I - DENOMINAZIONE, SEDE, DURATA
Articolo 1 - Denominazione
L'associazione denominata "Associazione per l'informatica umanistica e la cultura digitale" viene costituita quale associazione di diritto privato ai sensi dell'Art.14 e seguenti del codice civile.

Fig. 3 Pag. 10 dell'Atto costitutivo di AIUCD (particolare), alle rr. 1-2 si legge la data del 25 marzo 2011.

L'assemblea nominò il presidente, Dino Buzzetti¹³ e la vicepresidente, Anna Maria Tamaro. Da quel momento la storia di AIUCD è reperibile, in forma sintetica, in una pagina web dedicata del sito dell'associazione: <https://www.aiucd.it/storico-direttivo/>.

Dal 2017 AIUCD è editore di una rivista in platinum open access dal titolo Umanistica Digitale (<https://umanisticadigitale.unibo.it/>). In linea con gli obiettivi dell'associazione, la rivista intende proporsi come luogo di comunicazione, riflessione e dibattito sui temi dell'informatica umanistica e delle Digital Humanities: dai fondamenti teorici e metodologici dei modelli e dei metodi computazionali nelle scienze umane alla sperimentazione e applicazione di strumenti informatici e sistemi digitali in tutte le aree delle discipline umanistiche; dalla considerazione dei nuovi fenomeni delle culture di rete all'analisi dei cambiamenti nella comunicazione scientifica e nelle infrastrutture per la ricerca.

AIUCD opera, inoltre, attraverso il blog *Leggere, scrivere e far di conto* (<https://infouma.hypotheses.org/>) aperto ai contributi di ricercatori, studenti, professionisti e cultori delle Digital Humanities, per stimolare una discussione anche oltre l'ambito prettamente accademico.

Oggi l'associazione continua a svolgere un ruolo fondamentale nel supportare la ricerca e l'innovazione nell'ambito dell'informatica umanistica e della cultura digitale, contribuendo a consolidare e diffondere le pratiche e le conoscenze in questo campo d'indagine in continua evoluzione, sicuramente interdisciplinare, ma sempre più spesso anche transdisciplinare, che attinge cioè a uno spazio in cui i riferimenti concettuali vengono realmente condivisi e le prospettive disciplinari finiscono per trascendersi. È oggetto di dibattito se il modello a galassia descritto recentemente da Fabio Ciotti – nucleo teorico e fondazionale, disco con bracci disciplinari forti, bordo esterno di confine e interazione con altre galassie (Ciotti 2023, 29-32) – possa essere effettivamente il più adatto a cogliere le peculiarità di tale campo poiché applicabile a molti altri ambiti scientifici analoghi. Sicuramente, la specificità metodologica dell'informatica umanistica risiede nell'adozione di modelli, metodi e strumenti computazionali per le attività di ricerca nelle discipline umanistiche e per il trattamento dei dati linguistici e culturali che ne derivano.

AIUCD organizza un convegno annuale su temi salienti dell'informatica umanistica, giunto nel 2025 alla quattordicesima edizione, i cui atti del convegno sono pubblicati in open access a cura dell'associazione stessa (<https://umanisticadigitale.unibo.it/pages/boa>)¹⁴.

Nel giugno 2023 AIUCD ha sottoscritto una convenzione con l'Associazione Italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico (AICA)¹⁵ con il fine di fare rete per potenziare la cultura digitale nella società attraverso iniziative di vario tipo – tra cui la formazione dei docenti delle scuole di diverso ordine e grado. AIUCD e AICA negli

13. A Buzzetti fu conferito il titolo di presidente onorario nel 2015, mantenuto fino alla sua prematura scomparsa nel 2023.

14. Le sedi dei convegni annuali sono state: Firenze (2012), Padova (2013), Bologna (2014), Torino (2015), Venezia (2016), Roma (2017), Bari (2018), Udine (2019), Milano (2020), Pisa (2021), Lecce (2022), Siena (2023), Catania (2024), Verona (2025).

15. Cfr. il contributo di Paolo Ciancarini nel presente volume.

ultimi due anni hanno organizzato congiuntamente un corso di aggiornamento per docenti, riconosciuto dal Ministero dell'istruzione, intitolato "Introduzione all'informatica umanistica" con una declinazione tematica specifica di anno in anno. Nel 2023 il tema della riflessione ha riguardato l'intelligenza artificiale.

Sviluppi interessanti per l'informatica umanistica si prevedono anche a seguito dei lavori di un working group (WG) in Cyber Humanities istituito da CINI nel maggio del 2024. Il WG intende approcciare le Digital Humanities da una prospettiva tecnologica, con un focus sugli aspetti applicativi dell'area ICT che interessano o possano interessare il dominio umanistico. L'iniziativa ha infatti come scopo primario un miglioramento dell'offerta accademica e della ricerca dal punto di vista ICT verso l'ambito umanistico sul tema delle risorse digitali nell'ecosistema delle scienze umane e del patrimonio culturale.

Più in generale, inoltre, il WG intende stimolare una riflessione su tale tema dal punto di vista scientifico e tecnologico e contribuire alla riduzione della divisione fra le due culture (umanistica e scientifico-tecnologica) con l'auspicio di promuovere l'inter e la transdisciplinarietà e di garantire la piena inclusione di ambiti di ricerca tradizionalmente sottorappresentati¹⁶.

Come già rilevato a proposito della didattica, la mancanza per l'informatica umanistica di un settore scientifico-disciplinare *ad hoc* comporta, senza dubbio, il beneficio di potersi dedicare a una ricerca più libera da vincoli istituzionali, ma anche il notevole rischio di uno scarso riconoscimento del valore scientifico dei prodotti che da quella ricerca scaturiscono, rendendo altresì meno efficace il rapporto con le comunità di pratica pienamente integrate a livello accademico.

Scrivere la storia oggi: le sfide del presente

L'intelligenza artificiale

Nel campo dell'informatica umanistica dagli anni Ottanta e Novanta del Novecento, vengono utilizzati sistemi di intelligenza artificiale (IA) basati su reti neurali quali il Machine Learning¹⁷ e il Deep Learning¹⁸.

L'origine dell'IA risale più a ritroso nel tempo: l'atto di nascita ufficiale dell'espressione *artificial intelligence* e del relativo campo di studi viene fatto risalire al *Dartmouth Workshop* organizzato nell'estate del 1956 dal matematico statunitense John McCarthy e dal fisico Marvin Minsky, allora giovani ricercatori emergenti, con la collaborazione dei già affermati Claude Shannon e Nathan Rochester. In realtà, i presupposti concettuali alla base dell'IA erano già da tempo stati sviluppati, in particolare grazie al contributo di Alan Turing che nel 1950 aveva pubblicato il noto saggio *Computing machinery and*

16. Cfr. il contributo di Ernesto Damiani nel presente volume.

17. Insieme delle procedure atte al miglioramento automatico della performance di sistemi algoritmici a partire da dati che essi utilizzano e processano.

18. Forma di Machine Learning nella quale vengono impiegati diversi strati sovrapposti o livelli intermedi di reti neurali e un'enorme quantità di dati per addestrare gli algoritmi a compiere azioni anche molto complesse, come fornire analisi predittive.

intelligence. In esso, tra i molti argomenti affrontati, l'autore si interroga sulla possibilità per le macchine di manifestare un comportamento intelligente e viene presentata per la prima volta l'idea del "gioco dell'imitazione" (noto poi come Test di Turing) per la valutazione dell'intelligenza di un sistema artificiale (Ciotti 2023, 292-293; si veda anche il contributo di Luigia Carlucci Aiello nel presente volume).

Gli ambiti privilegiati – benché non esclusivi – di applicazione dei sistemi di reti neurali di IA alle discipline umanistiche comprendono il riconoscimento ottico dei caratteri (Optical Character Recognition, OCR), il riconoscimento automatico delle grafie manoscritte (Layout Analysis e Handwritten Text Recognition, HTR), la scansione automatica di strutture metrico-ritmiche, la ricostruzione automatica del testo o di elementi paratestuali attraverso tecniche di restuaro virtuale negli studi di epigrafia e di papirologia (si pensi al noto progetto Vesuvius Challenge che sfrutta algoritmi di IA per la lettura non invasiva dei papiri di Ercolano, <https://scrollprize.org/>). In campo figurativo vengono da tempo applicate tecniche di *machine vision* e di *pattern recognition* per creare una catena di connessione tra opere d'arte apparentemente anche molto lontane tra di loro – cito, a titolo puramente esemplificativo, il progetto X Degrees of Separation (<https://experiments.withgoogle.com/x-degrees-of-separation>) che sfrutta la capacità del software di riconoscere automaticamente dati visivi al fine di costruire relazioni imprevedibili o inattese tra due o più immagini artistiche collegate da una forma di immaginazione computazionale.

Un deciso salto di livello nell'uso dell'IA si è verificato con l'introduzione al pubblico del sistema conversazionale online ChatGPT da parte di OpenAI nel novembre del 2022. ChatGPT è costituita da un'interfaccia web che permette di interagire con alcuni esemplari della famiglia di Large Language Model generativi sviluppati da OpenAI, attualmente i più noti e diffusi – anche se non gli unici disponibili (Ciotti 2023, 290).

L'insieme delle metodologie e delle tecnologie alla base della IA generativa – non solo linguistica, considerando anche gli sviluppi di modelli in grado di generare immagini statiche, nonché le sperimentazioni già in atto nella generazione di immagini in movimento e di ambienti digitali 3D – rappresenta con tutta probabilità, il punto di svolta più rilevante e socialmente impattante dall'invenzione del World Wide Web. Questo tipo di IA permette già ora, ad esempio, di generare degli script per la filologia digitale; può inoltre essere produttivamente usato come interfaccia conversazionale uomo/macchina (traducendo una domanda in linguaggio naturale in una query SPARQL e viceversa), nonché come mezzo di personalizzazione della didattica.

Rimangono aperti problemi noti a livello scientifico (quello più comunemente citato è il caso delle "allucinazioni", ovvero la produzione di risposte false a livello referenziale, benché corrette linguisticamente; ma altrettanto degna di nota è la questione legata alla non riproducibilità dei risultati ottenuti), etico (i prodotti più diffusi sono commerciali) e giuridico-normativo (per esempio il rapporto tra IA generativa e diritto d'autore). A tutto ciò si aggiunga il delicato problema della cybersicurezza, per rispondere al quale, in Italia, l'Agenzia per la cybersicurezza nazionale ha aderito alle *Linee guida per uno sviluppo sicuro dell'Intelligenza Artificiale*, <https://www.acn.gov.it/portale/linee-guida-ia>, un documento congiunto internazionale reso pubblico il 27 novembre 2023 e sottoscritto da 23 agenzie in 18 paesi.

La preservazione a lungo termine e le Infrastrutture di Ricerca

La produzione di un numero sempre maggiore di dati e metadati, di progetti che necessitano di essere mantenuti non solo a livello tecnico, ma anche intellettuale, la gestione di strumenti di analisi sempre più sofisticati per condurre ricerche di alto livello nei rispettivi campi delle scienze umane, hanno reso prioritarie due questioni ormai diventate ineludibili: da un lato la necessità di pianificare la gestione dell'intero ciclo di vita dei dati, dalla stesura di un progetto fino alla sua conclusione; dall'altro, la preservazione a lungo termine dei prodotti della ricerca digitali che sono a concreto rischio di rapida obsolescenza, vanificando così gli investimenti non solo sul piano economico ma, soprattutto, su quello intellettuale. In questo contesto nel corso degli anni si è andato profilando anche nelle scienze umane il ruolo sempre più determinante delle Infrastrutture di Ricerca (IR) come sedi deputate alla diminuzione della frammentazione, alla massimizzazione delle risorse e alla promozione dell'avanzamento della ricerca in virtù dello scambio di buone pratiche su obiettivi comuni attraverso l'adozione di prassi e standard condivisi. A livello europeo l'ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructure) da alcuni anni definisce la *roadmap* per molteplici IR che operano nel settore dell'innovazione sociale e culturale: tra queste le più note sono forse CLARIN-ERIC, <https://www.clarin.eu>, infrastruttura di riferimento per le risorse e tecnologie linguistiche; DARIAH-ERIC, <https://www.dariah.eu>, maggiormente focalizzata sulle arti e le discipline umanistiche; E-RIHS, <https://www.e-rihs.eu>, incentrata sull'Heritage Science; OPERAS, <https://www.operas-eu.org>, landmark per l'Openly Scholarly Communication (Monachini e Frontini 2023).

In Italia, il Piano Nazionale della Ricerca 2021-2027 del MUR pone particolare attenzione alle IR, considerate un pilastro fondamentale soprattutto per la ricerca di base. Il nostro Paese aderisce ai consorzi internazionali e si allinea alle azioni intraprese a livello europeo attraverso l'ESFRI, ma contemporaneamente promuove la possibilità di rinforzare la rete delle IR nazionali anche tramite il sostegno a un'infrastruttura sovraordinata e federata, denominata Humanities and Heritage Open Science Cloud (H2IOSC) 2022-2025, che compare tra i progetti finanziati dal PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) e che intende favorire l'integrazione dei nodi nazionali di CLARIN, DARIAH, E-RIHS e OPERAS.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare per le informazioni ricevute va a Fabio Ciotti e Francesca Tomasi, già presidenti AIUCD, a Daria Spampinato, componente del WG CINI sulle Cyber Humanities, e ai membri del Consiglio direttivo dell'Associazione. Grazie anche a Maristella Agosti per avermi trasmesso importanti documenti, precedenti alla sottoscrizione dello statuto, che mi hanno molto aiutata a ricostruire i prodromi dell'atto fondativo di AIUCD.

BIBLIOGRAFIA

- Agosti, Maristella. 2022. "L'informatica nella Facoltà di Lettere e Filosofia a Padova." In *La Facoltà di Lettere e Filosofia. Duecento anni di studi umanistici all'Università di Padova*, a cura di Vincenzo Milanesi, 458-462. Padova: Il Poligrafo.
- Agosti, Maristella. 2023. "Biblioteche digitali: nascita, evoluzione, futuro." In (Ciotti 2023, cur.): 178-196.
- Alinei, Mario. 1971. *Spogli elettronici dell'italiano delle origini e del Duecento*, 2 voll. Bologna: il Mulino.
- Avalle, d'Arco Silvio. 1979. *Al servizio del "Vocabolario della lingua italiana"*. Firenze: Accademia della Crusca.
- Barbrook, Adrian C., Christopher J. Howe, Norman Blake, e Peter Robinson. 1998. "The Phylogeny of the Canterbury Tales." *Nature* 394(6696): 839.10.1038/29667.
- Berners-Lee, Tim, James Hendler, e Ora Lassilla. 2001. "The Semantic Web: A New Form of Web Content That is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities." *Scientific American* 284(5): 34-43.
- Busa, Roberto. 1980. "The Annals of Humanities Computing: The Index Thomisticus." *Computers and the Humanities* 14(2): 83-90. <https://doi.org/10.1007/BF02403798>.
- Busa, Roberto, Caterina Croatto-Martinolli, Lucio Croatto, Carlo Tagliavini, e Antonio Zampolli. 1962. "Una ricerca statistica sulla composizione fonologica della lingua italiana parlata, eseguita con un sistema IBM a schede perforate." In *International Association of Logopedics and Phoniatrics, Proceedings of the XIIth International Speech and Voice Therapy Conference*, a cura di Caterina Croatto-Martinolli, e Lucio Croatto, 542-562. Padova: Centro per l'Automazione dell'Analisi Linguistica di Gallarate-Centro Medico Chirurgico di Foniatria di Padova-Istituto di Glottologia dell'Università di Padova. <https://www.ilc.cnr.it/wp-content/uploads/2022/05/Z001.pdf>
- Buzzetti, Dino. 2023. "Prefazione. Oltre il limite istituzionale." In (Ciotti 2023, cur.): 15-18.
- Buzzoni, Marina. 2024. "Il Progetto Saba: dare voce a un manoscritto inedito del *Canzoniere*." In *Informatica umanistica, Digital Humanities: Verso quale modernità?* Bari: Cacucci, 153-165.
- Celentano, Augusto, Agostino Cortesi, e Paolo Mastandrea. 2004. "Informatica umanistica: Una disciplina di confine." *Mondo Digitale* 4: 44-55.
- Ciotti, Fabio. 1997. "Testo rappresentazione e computer. Contributi per una teoria della codifica testuale." In *Internet e le Muse*, a cura di Patrizia Nerozzi Bellman, 221-250. Milano: Mimesis.
- Ciotti, Fabio. 2023. "Minerva e il pappagallo. IA generativa e modelli linguistici nel laboratorio dell'umanista digitale." *Testo e Senso* 26: 289-315.
- Ciotti, Fabio, cur. 2023. *Digital Humanities. Metodi, strumenti, saperi*. Roma: Carocci.
- Froger, Jacques. 1968. *La critique des textes et son automatisaton*. Paris: Dunod.
- Gigliozzi, Giuseppe. 1987. *Studi di codifica e trattamento automatico dei testi*. Roma: Bulzoni.
- Gigliozzi, Giuseppe. 1992. "Modellizzazione delle strutture narrative." In *Calcolatori e scienze umane. Scritti del Convegno organizzato dall'Accademia Nazionale dei Lincei e dalla Fondazione IBM Italia*, 302-314 Milano: EtasLibri.
- Gigliozzi, Giuseppe. 2008. *Saggi di informatica umanistica*, a cura di Myriam Trevisan. Milano: Unicopli.
- Monachini, Monica, e Francesca Frontini. 2023. "Infrastrutture digitali per le scienze umane e sociali." In (Ciotti 2023, cur.): 197-213.

- Morando, Sergio, cur. 1961. *Almanacco Letterario 1962*. Milano: Bompiani.
- Mordenti, Raul. 2001. *Informatica e critica dei testi*. Roma: Bulzoni.
- Moscatti, Paola. 2016. "Jean-Claude Gardin and the Evolution of Archaeological Computing." *Les nouvelles de l'archéologie* 144: 10-13.
- Nyhan, Julianne, e Andrew Flinn. 2016. *Computation and the Humanities. Towards an Oral History of Digital Humanities*. London: SpringerOpen.
- Numerico, Teresa, Domenico Fiorimonte, e Francesca Tomasi. 2010. *L'umanista digitale*. Bologna: il Mulino.
- O'Reilly, Tim. 2004. *What is Web 2.0*.
<https://www.oreilly.com/pub/a/web2/archive/what-is-web-20.html>
- Orlandi, Tito. 1990. *Informatica Umanistica*. Roma: La Nuova Italia Scientifica.
- Orlandi, Tito. 1992. "Informatica Umanistica: Realizzazioni e prospettive." In *Calcolatori e scienze umane. Scritti del Convegno organizzato dall'Accademia Nazionale dei Lincei e dalla Fondazione IBM Italia.*, 1-22. Milano: EtasLibri.
- Orlandi, Tito. 2012. "Per una storia dell'informatica umanistica." *Quaderni DigiLab* 2 49-102. 10.7357/DigiLab-18.
- Orlandi, Tito, e Francesca Tomasi. 2023. "Una storia dell'informatica umanistica in Italia." In (Ciotti 2023, cur.): 35-47.
- Quentin, Dom Henri. 1926. *Essais de critique textuelle (Ecdotique)*. Paris: Picard.
- Ricciardi, Mario, cur. 1994. *Oltre il testo: Gli ipertesti. Scienze umane e nuove tecnologie*. Milano: Franco Angeli.
- Rockwell, George, e Marco Passarotti. 2019. "The Index Thomisticus as a Digital Humanities Big Data Project." *Umanistica Digitale* 5: 13-34.
<https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/8575>.
- Roelli, Philipp, cur. 2020. *Handbook of Stemmatology. History, Methodologies, Digital Approaches*. Berlin: de Gruyter.
- Schreibman, Susan, Ray Siemens, e John Unsworth. 2004. *Companion to Digital Humanities*. London: Blackwell.
- Stoppelli, Pasquale. 2005. "Dentro la LIZ, ovvero l'edizione di mille testi." *Ecdotica* 2: 42-59.
- Tomasi, Francesca. 2018. "DIGITAL HUMANITIES AND DIGITAL KNOWLEDGE (DHDK) International second cycle/Master degree." *Umanistica Digitale* 2(2).
<https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/7862>.
- Zampolli, Antonio. 1960. *Studi di statistica linguistica eseguiti con impianti IBM*. Università degli Studi di Padova, Facoltà di Lettere e filosofia, Tesi di laurea, aa 1959-60.
- Zarri, Gian Piero. 1969. "Il metodo per la 'recensio' di Dom Henri Quentin esaminato criticamente mediante la sua traduzione in un algoritmo per l'elaboratore elettronico." *Lingua e Stile* 4(2): 161-182.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-36>

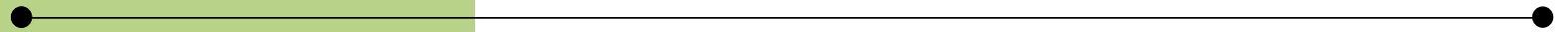


37

Informatica e società

Elia Bellussi
Marco Cristanini
Stefano Ferilli
Elisabetta Mori
Stefano Penge
Carla Petrocelli

Collezioni e musei



Introduzione

Elia Bellussi, Marco Cristanini, Stefano Ferilli, Stefano Penge

Perché i musei di Informatica

Sebbene l'informatica, nella forma in cui la conosciamo oggi, sia un'area piuttosto giovane nel panorama della conoscenza umana, i suoi progressi – incredibilmente rapidi negli ultimi decenni – e la rilevanza che i computer hanno acquisito in ogni aspetto della nostra vita hanno recentemente suscitato un notevole interesse per lo studio della storia dell'informatica e per la conservazione della conoscenza e degli artefatti a essa correlati. L'informatica, quindi, non è più solo un mezzo per sostenere e promuovere tutte le attività legate al patrimonio culturale digitale, ma sta diventando l'oggetto stesso di studio.

I musei hanno, da sempre, un ruolo legato alla conservazione, alla salvaguardia e alla condivisione della cultura, divenendo attori materiali nella costruzione dell'identità delle persone. Oggi anche gli oggetti legati al mondo dell'informatica – che sono traccia dell'evoluzione tecnologica e dell'impatto socioeconomico e ambientale della nostra storia moderna – sono diventati, a pieno titolo, reperti museali.

Relativamente all'ambito culturale, in particolare, i musei universitari rivestono un ruolo di particolare importanza e centralità per la divulgazione scientifica, la didattica e l'orientamento scolastico.

Musei e collezionisti privati del genere sono comparsi in tutto il mondo, e alcuni oggetti sono stati venduti per cifre importanti.

Ad esempio, una delle unità superstiti di Apple I, il primo computer sviluppato da Apple, è stata venduta nel 2018 per 375 000 dollari; uno dei prototipi di Commodore 65 – un computer che non è mai stato commercializzato, dotato di una scheda di espansione probabilmente unica – è stato venduto per decine di migliaia di dollari e alcuni dei primi modelli di personal computer, prodotti in migliaia di unità, sono stati venduti per diverse migliaia di dollari.

Inoltre, sono stati organizzati molti eventi (conferenze, seminari, mostre) sul tema del “vintage computing”, che hanno attirato studiosi, ricercatori, amatori, collezionisti e altri tipi di appassionati.

L'Italia sta svolgendo un ruolo di primo piano tra i Paesi attivi in questo campo.

Il continuo entusiasmo per questo argomento sta portando alla scoperta, al recupero e alla conservazione di enormi quantità di informazioni preziose, includendo nelle attività anche coloro che in prima persona hanno posato le pietre miliari e favorito lo sviluppo di questo settore.

Si tratta, quindi, di un'opportunità senza precedenti (che, probabilmente, svanirà presto e non si ripeterà mai più) di raccogliere, archiviare in modo sicuro e organizzare in modo sensato tutto questo patrimonio di informazioni perché si possano trasmettere alle generazioni future per scopi di ricerca, studio o educazione.

Purtroppo, la raccolta di tali informazioni è problematica per tre motivi. In primo luogo, nonostante ci si occupi da tempo di storia dell'informatica in differenti contesti e a vari livelli, resta comunque, tuttora, un ambito di nicchia con enormi potenzialità ancora inesprese.

In secondo luogo, le conoscenze sono distribuite tra molte persone, ognuna delle quali forse ha traccia solo di una parte della storia o è specializzata soltanto su alcuni aspetti. La tecnologia in questo campo soffre di un'obsolescenza estremamente rapida e quindi i nuovi operatori tendono a ignorare importanti informazioni tecnologiche necessarie per comprendere e gestire oggetti di pochi anni prima.

Infine, proprio la veloce obsolescenza espone i reperti legati al mondo dell'informatica a un precoce deterioramento e comporta un conseguente, massiccio, smaltimento degli stessi tra i rifiuti elettronici.

Catalogazione

Gli oggetti legati all'informatica sono chiaramente diversi e si distinguono da tutti gli altri oggetti del patrimonio culturale per le molte peculiarità che includono. Alcune di queste (senza pretendere di essere esaustivi) vengono presentate nel seguito con un elenco puntato, per rendere più agevole la lettura:

- i dispositivi, e talvolta i componenti, coinvolgono – anzi, sono in simbiosi – con software in una relazione così stretta che l'uno può essere privo di significato senza l'altro. Ad esempio, i dispositivi possono richiedere un software per essere in grado di fare qualsiasi cosa; parte del software è spesso cablata nella macchina sotto forma di codice ROM e il software è privo di significato se non sono disponibili dispositivi adatti a caricarlo ed eseguirlo;
- il software, tuttavia, ha caratteristiche molto diverse dall'hardware e richiede concetti e relazioni specifiche per essere descritto in modo completo e adeguato (ad esempio, codice sorgente, librerie, supporto);
- i dispositivi, i componenti e il software sono solitamente prodotti in serie, pertanto è necessario gestire le informazioni (a volte complesse) relative alla produzione. Ad esempio, il microprocessore 6502 è stato prodotto da tre diverse aziende; il computer Amiga è stato prodotto da aziende diverse nel corso della sua vita; il C64 ALDI è stato prodotto solo dagli impianti di produzione statunitensi della Commodore – e questo vale sia per l'intero dispositivo che per le sue singole parti;
- tutti gli esemplari di un determinato prodotto, anche se prodotti in serie, non sono necessariamente identici: pur mantenendo lo stesso codice prodotto, possono presentare differenze esterne o interne, a volte minime ma molto importanti, nell'aspetto o nei componenti, a seconda del luogo o del periodo di produzione o del Paese di commercializzazione; ad esempio il Commodore PET era etichettato CBM in Francia, la serie Commodore VIC era etichettata VC in Germania, per via del fatto che quegli acronimi erano parole sgradevoli in quei Paesi; i computer venduti in Europa erano equipaggiati con componenti progettati per la produzione e l'utilizzo di un segnale video PAL, mentre i computer venduti negli Stati Uniti erano equipaggiati con componenti corrispondenti progettati per un segnale video NTSC);

- a volte, soprattutto nel caso di oggetti molto vecchi o di restauri o riproduzioni recenti di vecchi oggetti, i dispositivi, i componenti e gli oggetti sono prototipi o prodotti artigianalmente (*homebrew*), il che richiede descrizioni completamente diverse, ad esempio, per quanto riguarda i processi di fabbricazione e i materiali;
- i dispositivi e i software sono strutture composite e complesse e la loro struttura è una caratteristica intrinsecamente rilevante sia internamente che esternamente:
 - internamente, da un punto di vista formale, gli schemi di un dispositivo sono fondamentali per comprenderne il funzionamento e apprezzarne la complessità tecnica, ad esempio, constatando l'uso di soluzioni ingegnose per risparmiare spazio sulla scheda o ridurre il numero di componenti; inoltre, da un punto di vista pratico, la disposizione delle parti può evidenziare organizzazione e bilanciamento);
 - esternamente, possono avere anche componenti associati quali imballaggi e manuali che possono risultare importanti quanto il dispositivo principale (la scatola può presentare una grafica di un noto artista, o il manuale può essere fondamentale per sapere come usare il dispositivo);
- anche le singole componenti di un dispositivo, sebbene considerate “atomiche” dal punto di vista funzionale e ai fini della catalogazione, possono essere oggetti strutturalmente composti (ed eventualmente complessi), per cui non è facile catturare e/o descrivere le loro caratteristiche; ad esempio, difficile specificare qual è la “materia” di cui è fatto un transistor;
- possono esistere diverse versioni o varianti di un dispositivo, di un componente, di un software o anche di oggetti secondari; ad esempio, esistono almeno 10 versioni diverse del C64; le prime versioni del manuale per la cartuccia Commodore CP/M includono schemi che sono stati rimossi dalle versioni successive; le prime versioni del Simons' Basic riportano “Simon's” sull'etichetta, a causa di un errore di ortografia nel cognome dell'autore;
- i dispositivi e il software, pur essendo interessanti di per sé a volte sono pienamente operativi, o hanno senso, solo in combinazioni che possiamo chiamare “sistemi”; è quindi interessante gestire anche la conoscenza sui sistemi; per esempio, sistemi tipici e sistemi appositamente creati per scopi specifici;
- anche se non fanno parte di un sistema, i dispositivi e il software non sono oggetti isolati; possono collegarsi l'uno all'altro e ci sono vincoli molto rigidi e talvolta sottili per la compatibilità di hardware e software; ad esempio, alcuni software non funzionano con alcune versioni di alcuni componenti dei dispositivi, alcune periferiche non possono essere utilizzate con alcuni modelli di computer – a volte i connettori sono diversi, a volte i problemi sono più sottili;
- oltre alla compatibilità hardware-software tra computer e periferiche esistono anche

problemi di compatibilità tra modelli diversi e tra versioni diverse dello stesso modello; ad esempio, il Commodore VIC-20 è compatibile con il C64 solo per i programmi BASIC, non per i programmi di ASSEMBLY, a causa delle diverse mappe di memoria; non tutto l'hardware e il software del computer C64 possono essere utilizzati con la nuova versione del C64c rilasciata negli anni Novanta, anche se in genere sono considerate macchine equivalenti;

- i dispositivi e i sistemi possono avere diverse configurazioni, sia hardware che software; ad esempio, diverse quantità di memoria, diverse schede di espansione, diversi sistemi operativi o applicazioni, diverse periferiche; ciò richiede la capacità di esprimere limiti per le configurazioni (ad esempio, la massima memoria RAM), o la configurazione di specifici oggetti di proprietà di un privato, di un'azienda o di un'organizzazione;
- i dispositivi (e i sistemi) sono destinati all'uso, non solo all'esposizione; di conseguenza, la vera conservazione deve comportare il mantenimento della loro operatività che, a sua volta, richiede la conoscenza su come farli funzionare, come diagnosticare i guasti e come ripararli; gran parte di queste conoscenze sono contenute in libri, manuali e schede tecniche, ma quando i componenti originali non sono più disponibili, le informazioni su se, quando e come componenti diversi possono sostituire quelli originali possono essere preziose;
- inoltre, la riparazione o la personalizzazione delle funzionalità può richiedere soluzioni talmente particolari, ingegnose, strane o comunque degne di nota che i “trucchi” e il processo di ripristino o personalizzazione sono di per sé interessanti e dovrebbero essere salvaguardati;
- sia i dispositivi che i loro componenti hanno funzionalità (eventualmente complesse) che dovrebbero essere descritte;
- non esistono uno standard né una categorizzazione precisa per i dispositivi (e talvolta per i componenti), il che rende difficile stabilire una tassonomia generalmente condivisa e assegnare attributi stabili a super-classi e sottoclassi; alcuni dispositivi sono così particolari che considerare una classe per loro sembra eccessivo; inoltre, alcuni dispositivi hanno funzionalità multiple, il che rende difficile assegnarli correttamente alle classi;
- lo sviluppo di tutti i tipi di oggetti, anche quelli apparentemente semplici, coinvolge molti collaboratori a diversi livelli e con diversi ruoli; ad esempio, architetto capo, squadra di progettazione, autori della documentazione, progettisti di casi esterni. Alcune di queste peculiarità sono condivise con altri tipi di strumenti tecnologici moderni, soprattutto quelli elettronici, ma i dispositivi informatici portano la complessità all'estremo. Mancano standard di catalogazione e conservazione della conoscenza specifici per questo campo, e quelli esistenti sviluppati per altre branche della conoscenza sono evidentemente inadeguati.

La catalogazione dei dispositivi informatici deve utilizzare concetti provenienti da altre discipline, sia generali che specifici. Infatti, se lo scopo è quello di supportare la ricerca, l'istruzione e, più in generale, la diffusione della consapevolezza su questo argomento, non si possono ignorare tutte le informazioni relative al contesto che forniscono uno sfondo agli oggetti, spesso li spiegano e li giustificano, o li collegano alla conoscenza più generale.

Bisogna considerare anche la necessità di raccogliere e conservare conoscenza su persone, aziende, opere intellettuali, primati, eventi storici eccetera.

Verso una storia dei musei di informatica italiani

L'informatica, come altre tecnologie moderne, ha avuto nel nostro paese un esordio piuttosto lento, ma, una volta introdotta, è stata adottata con grande velocità e ha influenzato la società e l'individuo, l'economia e la politica, le professioni e i passatempi, come in ogni altro paese avanzato. In Italia, come nelle altre nazioni, sono nati musei di storia dell'informatica e molti entusiasti amatori hanno cominciato a collezionare esemplari di vecchie macchine, raccogliendole, conservandole e rimettendole in funzione, evitando la loro scomparsa nei depositi di rottami¹.

Non è facile fare una storia dei musei di informatica o anche solo rispondere alla domanda: qual è stato il primo?

Non è facile perché mancano informazioni complete e prima ancora perché categorizzare i musei di informatica è un'operazione complessa. Si tratta di un mondo molto variegato, per certi versi ancora troppo giovane per essere strutturato in maniera univoca come è invece possibile fare per altre aree (si pensi ai musei d'arte). La stessa storia della disciplina informatica è responsabile di questa diversità: mentre le due grandi direzioni di ricerca e sviluppo (quella industriale e quella universitaria e dei centri di ricerca) si incrociavano e fecondavano a più riprese, la didattica dell'informatica nasceva staccandosi progressivamente dall'alveo della didattica della matematica o della fisica e definendo contemporaneamente i confini della disciplina. La creazione dei dipartimenti e poi delle facoltà informatiche all'interno delle università italiane è relativamente recente, come lo è l'inserimento dell'informatica tra le materie insegnate nelle scuole secondarie.

Contemporaneamente, proprio per la sua giovane età e per la disponibilità a basso costo di dispositivi, l'informatica non è solo una disciplina insegnata e appresa formalmente, infatti, esistono migliaia di informatici autodidatti e di appassionati, che si sono raccolti in circoli informati e in associazioni per condividere le proprie passioni.

Tutti questi processi hanno dato origine alle prime collezioni di libri e riviste, di calcolatori, di interfacce hardware e infine di software. Collezioni naturalmente molto diverse tra loro per finalità, dimensioni e criteri di selezione.

1. Hénin, Silvio, e Luca Cerri. 2015. "Musei e raccolte di storia dell'informatica in Italia." *Mondo Digitale*, vol. 60, nov. 2015.

Le difficoltà che abbiamo visto nel paragrafo precedente si traducono in soluzioni differenti, c'è chi raccoglie solo piccoli personal computer e chi parti di mainframe, chi descrive l'artefatto come prodotto e chi come progetto; chi inizia dai primordi del calcolo automatico e chi solo dall'era dell'home computing.

AICA, al termine di un censimento organizzato nel 2015 da Silvio Hénin e Luca Cerri, ha stilato un elenco di 43 collezioni². MuPin, in una sezione del suo sito³ ne aggiunge altre. L'elenco è però solo uno dei risultati della ricerca AICA; dall'analisi delle risposte Hénin e Cerri ricavano alcune osservazioni interessanti come quelle relative alla posizione geografica delle collezioni, al prestito inter-collezione o alla conservazione del software.

A coronamento di tale censimento, al fine di presentarne e discuterne collettivamente i risultati, è l'evento di particolare rilievo culturale e storico *Il computer racconta sé stesso*, il primo raduno nazionale tra musei e collezionisti nell'ambito dell'informatica, tenutosi il 18 giugno 2016 presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Verona e co-organizzato da Silvio Hénin e Luca Cerri (AICA), e Marco Cristanini (UniVR). I temi trattati in tale incontro sono stati efficacemente espressi nella rispettiva locandina.

Nell'incontro si tratteranno numerosi temi relativi alla vita delle collezioni storiche di materiale informatico: dalle problematiche di gestione alle opportunità culturali, dalla fruibilità alle occasioni di collaborazione. Un'attenzione particolare sarà posta alla potenzialità della "vecchia" informatica come strumento didattico per avvicinare le nuove generazioni al mondo della matematica e della logica, dell'elaborazione dei dati e del calcolo automatico.

Inoltre, è significativo l'intervento, durante lo stesso evento, dello storico AICA Corrado Bonfanti riguardo la mostra PSIC, realizzata grazie alla donazione da parte dello stesso della propria collezione, di cui segue un breve indicativo estratto.

[...] Si tratta della mostra PSIC - Percorsi Storici dell'Informatica e del Calcolo, ospitata in permanenza dall'Istituto Tecnico Statale Alessandro Volta di Trieste, che propone un esempio (un modello?) di iniziativa "a costo zero", entro la quale la vocazione conservativa del collezionista si sposa con la valorizzazione del suo patrimonio – piccolo o grande che sia – in termini di volontariato culturale al servizio della comunità.

Censire e catalogare i musei italiani può servire a diversi scopi, da quelli didattici a quelli più concretamente organizzativi. Possiamo immaginare una serie di obiettivi ordinati per semplicità e ambizione:

1. studiare la raccolta e rappresentazione degli artefatti informatici dal punto di vista geografico, storico, sociale, economico;
2. mettere in contatto gli enti gestori per scambi, prestiti, integrazioni;
3. creare una rete dei musei per organizzare visite, eventi, laboratori, corsi;
4. creare un catalogo globale degli oggetti censiti, consultabile online.

2. Per consultare l'elenco dei musei censiti visitare il sito <https://www.aicanet.it/associazione/gruppi-di-lavoro/storia-dellinformatica/musei-italiani>

3. <https://www.mupin.it/musei-del-computer-in-italia-europa-mondo/>

L'ultimo scopo è, naturalmente, molto ambizioso perché implica non solo che ogni museo abbia un suo catalogo sempre aggiornato (cosa non scontata: sempre secondo Hénin e Cerri solo il 60% delle realtà che hanno risposto al questionario ne ha uno), ma anche che questi cataloghi si possano integrare e unire.

Se si parte dal presupposto che gli artefatti digitali non sono solo oggetti curiosi, ma contengono in sé frammenti di storia e di cultura altrettanto significativi di un volume o di un quadro, ne deriva che abbiamo lo stesso diritto/dovere di catalogarli ed esporli in maniera del tutto simile a quanto si fa per gli altri musei; si aprono qui delle questioni sia pratiche che teoriche che in questa sede possiamo solo citare e che riprenderemo nell'ultimo paragrafo:

- Quale licenza apporre ai dati?
- Quali standard di catalogazione degli oggetti?
- Come garantire l'interoperabilità dei cataloghi?
- Come pubblicare i cataloghi per renderli parte del sistema nazionale di catalogazione degli oggetti culturali?

Il fatto che i musei e le collezioni siano sotto la responsabilità di soggetti giuridicamente diversi (privati, pubblici) di dimensioni e con risorse diverse, comporta una considerevole difficoltà nella standardizzazione della catalogazione degli oggetti. Sono, tuttavia, possibili direzioni alternative. Ad esempio, senza apportare modifiche strutturali, si può pensare di chiedere a ogni museo che abbia un sito web di mettere a disposizione un web service REST per l'interrogazione da parte di un metamatore di ricerca.

Una catalogazione completa dei musei, a nostro avviso, dovrebbe includere almeno questi campi:

1. Identificativo univoco
2. Nome
3. Area tematica
4. Dimensioni (numero di oggetti catalogati)
5. Data di creazione
6. Catalogo interrogabile (sì/no)
7. Nome gestore
8. Natura giuridica
9. Accesso (fisico/solo virtuale/fisico e virtuale)
10. Stato (attivo/non attivo)
11. Località (comune, provincia, latitudine e longitudine)
12. Contatti (URL, indirizzo, e-mail, telefono).

I campi 6, 9 e 10 sono a scelta multipla. I campi 3, 8 e 11 possono essere compilati con termini appartenenti a un vocabolario controllato, possibilmente appartenente a un'ontologia comune.

I musei italiani

Abbiamo scritto sopra che i vari musei si presentano diversamente in base alla loro storia, agli attori che ne sono all'origine e che li gestiscono, alle scelte di inclusione ed esclusione degli oggetti e alla ricchezza di informazioni che vengono presentate al visitatore, che sia online o in presenza. Tutti questi elementi si intrecciano e permettono di dividere i musei in tre grandi categorie:

1. Abbiamo, da un lato, i musei universitari creati generalmente in seno alle facoltà e ai dipartimenti di Matematica, Fisica, Elettronica, e naturalmente, Informatica⁴. Questi musei sono centrati sulla storia dei traguardi scientifici che hanno portato alla realizzazione degli artefatti; normalmente partono molto indietro nel tempo, esponendo anche macchine calcolatrici analogiche e meccaniche. Le schede che descrivono ogni oggetto hanno un taglio didattico-divulgativo. Più in dettaglio, le collezioni comprendono artefatti di varia natura – appartenenti a un ampio arco temporale, a partire dall'antichità – che testimoniano il progresso di quella stessa ricerca scientifica di cui sono protagonisti. Come precedentemente accennato, tali musei assumono un ruolo strategico nella divulgazione scientifica, nella didattica e nell'orientamento scolastico: le relative attività, che comprendono visite guidate, laboratori ed eventi, sono infatti incluse nella cosiddetta Terza Missione di Ateneo, ossia la missione in aggiunta a quelle di didattica e ricerca (le due missioni canoniche) che mira a promuovere iniziative di *public engagement* ossia attività organizzate istituzionalmente con valore educativo, culturale e di sviluppo della società, rivolte a un pubblico non accademico⁵.
2. Ci sono poi le collezioni create da singoli o intorno a gruppi di lavoro e gestite da associazioni culturali⁶. Queste collezioni sono per lo più legate al “retrocomputing” cioè ai primi personal computer o a quelli più diffusi negli anni d'oro dell'home computing. Il criterio di scelta degli oggetti è piuttosto soggettivo e legato all'esperienza degli organizzatori. L'obiettivo primario non è tanto quello di rendere visibili le idee progettuali dietro gli artefatti, ma quello di repertoriare e conservare oggetti che, proprio per la loro natura altamente tecnologica, rischiano di sparire fagocitati dalla versione successiva. In alcuni casi, ci si spinge fino al tentativo di restituire vita al binomio hardware e software, conservando e rendendo fruibili computer funzionanti, dotati di interfacce, sistemi operativi e applicazioni. In questi casi, l'operazione

4. Per completare il quadro dei musei che operano in ambito didattico-divulgativo, seppure in forme differenti e su diversa scala, si ricorda che ne esistono alcuni nati in scuole secondarie di secondo grado.

5. ANVUR (Agenzia Nazionale di Valutazione del sistema Universitario e della Ricerca) introduce il concetto di Terza Missione nel VQR (Valutazione Qualità della Ricerca) 2004-2010.

6. Non possiamo qui dare conto di tutti i musei e delle collezioni private esistenti, per quanto ricche e interessanti. Ad esempio, il Museo del Computer di Camburzano (<http://www.museodelcomputer.org>), gestito da una fondazione, conserva oltre 1400 diversi modelli di computer, 2400 periferiche, per un totale di 7 000 modelli diversi di dispositivi informatici.

ha anche uno scopo didattico perché permette soprattutto ai più giovani di toccare con mano l'esperienza d'uso di un calcolatore di cinquant'anni fa, di confrontarla con quella di oggi, di valutare vantaggi e svantaggi. Anche a tali collezioni sono abbinata visite guidate, laboratori, eventi.

3. Ci sono, infine, i musei specializzati, che non trattano interamente la storia dell'informatica ma solo quella di un particolare settore: una marca di computer, oppure un aspetto. Queste collezioni hanno l'ambizione di essere complete nel loro ambito.

Naturalmente, le categorie museali viste sopra soffrono di problemi differenti: dall'esaurirsi dello spazio per la conservazione e l'esposizione alla complessità del recupero dei reperti ingombranti e/o pesanti, fino alla difficoltà di reperimento delle risorse umane ed economiche per le attività di catalogazione e manutenzione o per quelle di promozione e gestione delle visite guidate, dei laboratori e degli eventi in generale.

Nel seguito riportiamo cinque esempi concreti delle suddette tipologie: tre musei universitari, una collezione gestita da un'associazione e una collezione specializzata.

Il Museo di Informatica dell'Università di Bari

Stefano Ferilli e Carla Petrocelli

Il museo del Dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro nasce nel 1999 come idea di un gruppo di studenti riuniti nel progetto culturale "Nexus I" e di Fabio Abbattista del Dipartimento di Informatica, i quali provvedono, tra le altre cose, a recuperare dei pezzi rinvenuti presso l'Università di Bari e altre istituzioni. È opportuno menzionare, in particolare, la rilevante donazione della Dedalo Litostampa. Negli anni successivi, l'iniziativa si associa al CISMUS (Centro Interdipartimentale di Servizi per la Museologia Scientifica) dell'Università di Bari e poi al SiMA (Sistema Museale di Ateneo), insieme ai musei di altri dipartimenti. Si trasforma in raccolta museale nel 2006, quando la gestione viene presa in carico da Stefano Ferilli. In questa fase vengono predisposte teche e vetrine, viene recuperata parte del materiale dai depositi e viene allestita la prima esposizione, che si sviluppa in maniera diffusa lungo tutti i piani del palazzo del dipartimento. È in questo momento che si sente l'esigenza di costituire un comitato tecnico-scientifico e di curare lo sviluppo e la gestione del patrimonio in possesso del dipartimento per arrivare alla formalizzazione di un Museo universitario.

Il Museo di Informatica, situato al piano terra del palazzo del dipartimento, viene ufficialmente inaugurato il 24 novembre 2023 alla presenza delle massime autorità accademiche. Da allora, si apre a iniziative divulgative organizzate con cadenza mensile e a visite guidate organizzate periodiche, o su prenotazione, di cui fruiscono particolarmente classi di scuole secondarie superiori.

Il museo raccoglie pezzi di proprietà dell'istituzione barese o donati da privati. L'organizzazione espositiva di questo museo universitario, che ha avuto come obiettivo principale quello di narrare l'evoluzione dei sistemi di calcolo automatico, ha permesso

che si creasse una connessione tra passato e futuro digitale. Il museo intende fornire una prospettiva storica alla cui luce interpretare le tecnologie informatiche attuali creando, anche, un ponte verso quelle che verranno. Il suo impegno a lungo termine è quello di aiutare il maggior numero possibile di utenti a comprendere meglio l'informatica e la tecnologia, il mondo digitale, le opportunità che offre e i cambiamenti che sta apportando alla nostra vita quotidiana. Preservando la memoria delle macchine, delle innovazioni e delle idee del passato, il Museo di Informatica assume un ruolo vitale nella promozione della storia, della cultura, delle tradizioni e delle implicazioni sociali legate all'informatica, oltre a diventare spazio di riflessione critica sulla nostra dipendenza tecnologica e sulle questioni etiche che derivano dall'uso sempre più diffuso di questi strumenti.

Poiché gran parte delle macchine esposte proviene dal patrimonio dell'università stessa, la raccolta è anche un'occasione con cui l'istituzione riguarda a se stessa, al suo rapporto col territorio e con la sua evoluzione tecnologica. Il museo, infatti, racconta e descrive anche il ruolo che l'Università di Bari ha avuto e continua ad avere in questo cambiamento: evocativo in tal senso è il mainframe IBM 3090 che, vestigia dell'epoca dei "dinosauri", ricorda come venivano mantenute le anagrafiche studenti e calcolate le tasse universitarie mezzo secolo fa. Proprio a seguito dell'esposizione dell'IBM 3090, il CTS ha difatti ricostruito le tappe che l'amministrazione centrale dell'Università ha seguito per l'acquisto del mainframe: il 30 luglio 1971 si deliberò la costituzione del centro di elaborazione dati, il S.E.D.A.B. (Servizio Elaborazione Dati Ateneo Barese) per l'automatizzazione dei servizi di segreteria e amministrativi, di contabilità finanziarie e del personale e per la memorizzazione delle carriere scolastiche di tutti gli studenti già iscritti e di quelli che si sarebbero iscritti successivamente. Tra le possibilità che si prospettarono per lavorare in questa direzione, vi fu quella di noleggiare da IBM il nuovo sistema di elaborazione dati 370 modello 135, completo di tutte le unità e dispositivi necessari, compresi terminali video e stampanti. Solo successivamente si deliberò l'acquisto dell'IBM 3090.

Il patrimonio esposto mostra anche quale fosse la dotazione tecnica utilizzata dai professori e dai ricercatori del Dipartimento di Informatica nell'anno della sua istituzione, il 1992. Per le attività quotidiane veniva utilizzato un PC IBM della serie 300PL, un PC standard per l'epoca, disponibile sia in versione desktop che tower, equipaggiato con processori Pentium di prima generazione. Per le attività di ricerca più avanzate venivano utilizzate le Workstation Sun, in particolare, una Sun Ultra 1 dotata di processore a 64bit UltraSPARC e di interfaccia Fast Ethernet e sistema operativo Solaris basato su Unix.

L'esposizione delle apparecchiature informatiche presenti in collezione comprende pezzi storici di grande valore come, oltre al citato IBM 3090 – che rappresenta quella categoria di computer che occupavano un intero appartamento – i Digital VAX, PDP/8 e PDP/11, minicomputer fra i più rilevanti, che hanno introdotto notevoli novità architettoniche nel panorama informatico; un Honeywell DPS6, insieme a vari esempi di terminali, dalla Teletype a quelli elettronici; il Selenia GP-160 clone italiano del PDP, realizzato dall'azienda pubblica italiana Selenia che ha avuto un posto di rilievo nel panorama industriale italiano; la Olivetti Programma 101.

Vi è anche una sezione celebrativa delle lauree *honoris causa* conferite dall'Università di Bari per l'informatica. Difatti, il 20 dicembre del 1962, l'Università di Bari, a coro-

namento di una carriera di successo, ha conferito a Natale Capellaro, progettista, tra le tante, di macchine da calcolo meccaniche (Divisumma 14, Divisumma 24) la laurea *honoris causa* in Ingegneria civile per il suo genio inventivo, mentre, il 14 ottobre del 2019, il Magnifico Rettore dell'Università di Bari, su suggerimento del Direttore del Dipartimento di Informatica Donato Malerba e di Stefano Ferilli, ha conferito la Laurea magistrale *honoris causa* in Computer Science a Gastone Garziera per le sue intuizioni geniali e lo straordinario lavoro svolto nella progettazione del primo personal computer. A testimonianza dello stretto rapporto tra l'istituzione universitaria e il riconoscimento dei contributi di uomini che in Italia hanno contribuito alla nascita dell'informatica, si riporta uno stralcio del discorso di Capellaro a Bari:

Se io, nel campo della progettazione di macchine meccanografiche, ho qualche merito, che oggi l'Università di Bari ha inteso riconoscere solennemente, molti meriti ha anche la Società Olivetti, gli uomini che la dirigevano all'epoca del mio esercizio e quelli che la dirigono oggi. Essi hanno permesso che le qualità di cui sono dotato trovassero le condizioni più favorevoli al loro sviluppo.

Nell'esposizione sono presenti numerosi altri modelli, tra cui vanno citati sicuramente l'Olivetti Audit A7 – computer dedicato alle applicazioni contabili degli anni Settanta – il Rockwell AIM-65, un esempio di *board computer* dedicato ad amatori e venduto senza alimentazione né cassa e l'Apple II, uno dei primi microcomputer industriali ad ampia diffusione, membro della cosiddetta “Personal Computer Trinity” insieme al Commodore PET 2001 e al Tandy-Radio Shack TRS-80. Una sezione specifica racconta la storia dei personal computer portatili, vista tramite i modelli della IBM. Molti dei pezzi conservati sono corredati di documentazione e manualistica, e anche di esempi di pubblicità particolarmente creativa dell'epoca. La raccolta si estende continuamente grazie alle donazioni da parte di docenti, istituzioni e privati cittadini.

Molto significativa è anche la sezione di software e manualistica di rilevanza storica o tecnica, che ha beneficiato della donazione di migliaia di volumi rinvenuti da Tecno-polis (ex CSATA), centro di eccellenza nazionale per l'informatica negli anni d'oro della disciplina, che includono testi rari e preziosi. Per il futuro, il museo ha in programma di estendere la raccolta ad aspetti immateriali e di contesto che sono fondamentali per comprendere altri oggetti e la loro storia. Infatti, l'hardware sarebbe “morto” senza il software, che però non può a sua volta prendere vita senza l'hardware, ed entrambi necessitano di opportuna documentazione che spieghi come usarli; inoltre, la conoscenza di eventi, fatti e anche aneddoti, a volte, è imprescindibile per capire perché le cose sono come le conosciamo in quanto, spesso, nell'informatica non sono state cause oggettive a determinare il successo o il fallimento di alcune soluzioni. Nell'esposizione, si riuniscono dunque collezioni di hardware e software, si conserva la documentazione tecnica di riferimento e, in alcuni casi, le testimonianze orali: si va dalle macchine utilizzate nella ricerca alle macchine industriali, a quelle per l'automazione d'ufficio, all'home computing, ma anche ai software quali linguaggi di programmazione, sistemi operativi e gaming. Il software è disponibile su quei supporti che oramai solo chi è avanti con l'età può ricordare, ossia, schede perforate, dischi magnetici, floppy di dimensione variabile, nastri magnetici.

Nella prospettiva di organizzazione degli spazi e di definizione dei percorsi di visita si è data particolare importanza a uno degli aspetti peculiari che un museo di informatica dovrebbe avere, ovvero alla sua finalizzazione didattica rivolta al mondo della scuola.

L'intento è quello di avvicinare le nuove generazioni all'informatica utilizzando un approccio in cui convivono e si rafforzano mutuamente il richiamo potente dell'attualità informatica e la plurimillennaria avventura intellettuale del contare: gli studenti scoprono un luogo dove si può vivere anche un'esperienza laboratoriale grazie alle dimostrazioni e agli eventi digitali concordati con l'Associazione Apulia Retrocomputing e ai seminari tematici a cadenza mensile organizzati dai docenti esperti del Dipartimento di Informatica, giovandosi del contesto offerto dal background storico del Museo.

Il Museo di Informatica di Bari non è dunque un luogo di conservazione di cimeli per un pubblico di esperti; diventa protagonista di una divulgazione che sfrutta il fascino, la rarità, la capacità di attrazione delle collezioni per incuriosire e interessare e per presentare la scienza e la tecnologia al pubblico. Ogni oggetto diventa portatore di una sua originale specificità ma è anche spunto di rimandi sociologici, artistici, storici, geografici.

Il Museo di Storia dell'Informatica del Dipartimento di Informatica dell'Università di Verona

Marco Cristanini

Il Museo DI-UniVR (o Verona-Computer Science Museum, VR-CSM) mira all'ampia diffusione della cultura scientifica alle nuove generazioni, grazie agli antichi artefatti di considerevole rarità e valore storico raccolti, ad oggi, nell'arco di un decennio. Questo, nella piena convinzione che

In un mondo sempre più accelerato [...] la riflessione storica è un antidoto alla perdita di prospettiva della memoria. La memoria non è ricordo del passato, ma forza proattiva che legge il passato per orientare il futuro⁷.

Origini ed alcune tappe fondamentali

Il museo nasce nel 2008 su iniziativa del Preside della Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Roberto Giacobazzi e di Vincenzo Manca, presidente del Centro di BioMedicina Computazionale (CBMC), dopo un incontro che entrambi ebbero con Alfio Andronico (matematico, coordinatore del Gruppo di Lavoro in Informatica e Didattica di AICA) e con Corrado Bonfanti (fisico, per anni coordinatore del Gruppo di Lavoro di Storia dell'informatica di AICA). L'occasione di tale incontro fu la promozione da parte di AICA di corsi per la storia dell'Informatica, che per tre anni accademici consecutivi, a partire dal 2005-2006, coinvolse dodici università italiane selezionate. Due sono le fasi propulsive che seguono: nel 2011 l'istituzione della figura del curatore nella persona di Marco Cristanini, che si occupa efficacemente della tessitura dei rapporti di

7. Dal discorso di benvenuto al convegno “Il computer racconta sé stesso” (2016) tenuto da Vincenzo Manca, professore onorario dell'Ateneo scaligero nonché promotore del Museo DI-UniVR.

radicamento nel territorio scaligero e nazionale e nel 2015 l'inclusione nella Terza Missione di Ateneo. È dal 2016, quindi, che il museo opera a pieno regime.

Alcuni numeri sulla mostra

Circa 150 oggetti sono strategicamente distribuiti per l'esposizione su tre piani in 37 teche illuminate a luce led. Tali oggetti comprendono non solo computer e relative periferiche, ma anche calcolatrici, dispositivi robotici⁸, macchine per scrivere, software, libri, manuali, riviste, enciclopedie, brochure e locandine. In totale, tra esposti e stoccati, gli oggetti collezionati sono circa 4 000: il più antico è un libro sulla fisica scritto da Enrico Fermi a uso dei Licei datato 1939, mentre quello più recente è una NeXTstation Color del 1990 completa di tutte le unità accessorie, manuali, programmi applicativi e prodotti di merchandising. Tra i più significativi si trova una matrice logica di sequenza di un calcolatore Olivetti Elea 6001 (primi anni Sessanta).

Le attività fondamentali

Vengono di seguito descritte le attività principali, sottolineando come la cura museale sia estremamente articolata e come la mostra non sia il fine ultimo, ma lo siano l'accoglienza, la relazione, l'inclusività, la divulgazione scientifica, la didattica, la collaborazione con le scuole e gli enti culturali, l'orientamento degli studenti nella scelta del corso di laurea e l'educazione civica relativamente all'utilizzo consapevole e responsabile delle nuove tecnologie.

Recupero di artefatti storici

In generale, un recupero non costituisce una semplice cessione di materiale bensì un processo delicato, frutto della costruzione di un rapporto con il donatore fondato sul valorizzare il vissuto e l'esperienza dello stesso. La *conditio sine qua non* per l'effettiva cessione – che si sancirà con la stipula di un formale contratto – è la reciproca fiducia, che rappresenta l'*humus* che molto spesso alimenta successive donazioni da parte del medesimo donatore anche a distanza di tempo. A seguito della donazione, si mantiene cura nel tempo della relazione con il donatore, informandolo sulle attività che valorizzano i beni donati⁹.

Cernita degli oggetti

L'indispensabile ottimizzazione dello spazio a disposizione, sia di esposizione che di deposito, rende cruciale una cernita iniziale prima del prelievo presso la residenza o il

8. Tra questi, i primi prototipi di una pinza intelligente e di un joystick aptico provenienti dal Jet Propulsion Laboratory (JPL) della NASA.

9. Si richiede sempre un'intervista al donatore cercando di scoprire luoghi, fabbriche, aziende e personaggi importanti da un'ottica socioeconomica e di costume.

domicilio del donatore oppure della consegna da parte del donatore presso la sede del Museo tramite la supervisione in loco e/o con foto. A tale cernita, una volta acquisito il materiale, ne segue una seconda di setacciamento direttamente presso l'area laboratoriale del Museo, che prevede lo smaltimento dei materiali di scarto (imballaggi, materiale RAEE irrimediabilmente danneggiato, pile, batterie). Oggetti di grandi dimensioni od oggetti recenti e funzionanti possono essere temporaneamente acquisiti nel tentativo, rispettivamente, di indirizzarli ad altri Musei/Enti o riciclarli.

Ripristino estetico e funzionale, e preservazione

La pulizia dei computer e dei dispositivi o apparati elettronici avviene sia internamente che esternamente senza l'utilizzo di agenti chimici impiegando unicamente panni in microfibra, carta inumidita, cotone, pennelli e aria compressa. Per la successiva, necessaria, disinfezione si ricorre, invece, a un detergente igienizzante idroalcolico (soluzione spray di alcool isopropilico almeno al 70%). Chiaramente, pulizia e igiene non sono finalizzate unicamente all'esposizione, ma anche all'immagazzinamento in condizioni ottimali per la preservazione e alla riparazione.

Catalogazione

La catalogazione avviene tramite database, e si fonda sui seguenti criteri: (a) ogni oggetto fisico deve essere numerato e dotato di una scheda tecnico-cronologica espositiva: due oggetti identici sono catalogati distintamente ma condividono la stessa scheda; (b) deve essere possibile definire un oggetto di tipo composto (per correlare oggetti secondo differenti criteri); (c) vanno inclusi – possibilmente già in fase contrattuale – i numeri seriali, i numeri prodotto e, nel caso di testi, i codici ISBN rilevabili da etichette o targhe metalliche.

Esposizione

La mostra vede tutti gli oggetti dotati di schede espositive cartacee, sia in italiano che in inglese, accessibili anche in formato digitale via QR code; alcuni oggetti sono affiancati da pannelli rappresentanti dettagli tecnici, sempre in italiano e inglese. Una parte della mostra è itinerante: si tratta di un insieme di teche che, grazie a pedane mobili costruite *ad hoc*, possono essere trasportate direttamente presso altri luoghi, ad esempio sedi scolastiche, in occasioni di eventi. Per una panoramica dell'esposizione si rimanda al sito web¹⁰.

Visite guidate in presenza o a distanza

Le visite sono guidate dal curatore e gratuite, fruibili anche in lingua inglese e possibili non solo in presenza ma anche a distanza, tramite la condivisione di materiale multimediale; sono rivolte principalmente alle scuole ma aperte a tutta la popolazione, con particolare attenzione alle persone con disabilità, prevedendo percorsi tattili perché le aree espositive garantiscono la totale accessibilità. Ai visitatori non sono richieste particolari competenze informatiche; specifici temi possono essere concordati con gli insegnanti per l'aderenza ai programmi scolastici, così come lo svolgimento di speci-

10. <https://www.di.univr.it/?ent=bibliocr&id=237&tipobc=5>

fiche esperienze in ambito STEM; le visite possono includere un laboratorio didattico di *retrocoding*¹¹; possono comprendere l'orientamento degli studenti ospitati nella scelta dei percorsi universitari da intraprendere successivamente al conseguimento del diploma, grazie alla collaborazione di docenti, ricercatori, studenti UniVR, spin-off; possono presentare temi di Educazione Civica inerenti la cittadinanza digitale. Assieme a svariate altre attività, le guide sono incluse nei PCTO (Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento)¹² gli studenti vi partecipano attivamente presentando, ad esempio, pubblicamente un proprio elaborato o gestendo autonomamente il laboratorio di *retrocoding* previa specifica formazione. Dal 2016 al 2023¹³ sono state svolte 261 visite guidate per un totale di 9 305 visitatori, raggiungendo, un picco attorno ai 2 000 visitatori annui consecutivamente nel triennio 2021-2023. Di tali visite, all'incirca il 51% è stato richiesto da scuole secondarie di secondo grado, il 10% da scuole primarie¹⁴, il 9% da famiglie, l'8% da scuole secondarie di primo grado, l'8% dalla popolazione, il 6% da scuole professionali, il 4% da associazioni, il 2% da studenti dell'Università di Verona e il 2% da insegnanti.

Eventi a livello locale, nazionale e internazionale

Il museo partecipa e co-organizza eventi su diversa scala. Localmente, è partner del Comune di Verona per le iniziative dedicate alle scuole scaligere; nazionalmente, invece, è partner di *Digital Meet*, il più grande Festival digitale italiano, in seno al quale promuove la gara di *retrocoding 64K Stunning Running* su Commodore 64; internazionalmente partecipa al Festival *A bit of History*, organizzato dal Museo MuPin di Torino. In particolare, si evidenzia la co-organizzazione nel 2016 dell'evento AICA *Il computer racconta se stesso*, assieme a Silvio Hénin e Luca Cerri di ARASS (Associazione Restauro Antichi Strumenti Scientifici di Brera). L'evento, tenutosi a Verona il 18 giugno 2016 presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Verona, vide per la prima volta l'incontro tra 14 Musei e associazioni provenienti da tutta Italia. Il titolo dell'intervento del Museo DI-UniVR, tenuto dal curatore Marco Cristanini, è stato "Da zero ai laboratori didattici per tutti (abili e diversamente abili)", incentrato sull'importanza dei percorsi tattili per le persone con disabilità.

Museo Piemontese dell'Informatica - MuPin (O.d.V.)

Elia Bellussi

Il Museo Piemontese dell'Informatica (MuPin) è un'organizzazione di volontariato che trae origine dall'idea concepita nel 2005 di istituire un'entità museale dedicata all'informatica nel territorio di Torino. Questa iniziativa riflette i profondi legami della

11. Basato su home computer degli anni Ottanta ancora funzionanti o riparati, posizionati su carrelli mobili.

12. Tali percorsi sono previsti dalle scuole secondarie di secondo grado a partire dal terzo anno e sono attualmente compresi tra gli argomenti del colloquio per l'Esame di Stato.

13. Si ricorda che il 2016 è l'anno in cui il Museo inizia a operare a pieno regime.

14. Tutte le classi, prevalentemente la classe quarta.

città con l'innovazione tecnologica e la storia dell'informatica. Torino, con la sua ricca eredità di storia, cultura, impegno sociale, e spirito imprenditoriale, si distingue come una delle principali capitali industriali europee. La città e la sua provincia sono state la culla di numerose imprese italiane di spicco, inclusa la rinomata Olivetti, simbolo dell'eccellenza italiana nel campo informatico.

La scelta di Torino come sede del MuPin si giustifica non solo per il suo storico contributo industriale ma anche per il suo ruolo significativo nella scienza dell'informatica. Personalità di spicco come Charles Babbage, pioniere del calcolo programmabile, e Ada Lovelace, considerata la prima programmatrice, hanno avuto legami con la città, e questa storia viene presentata dal contributo del volume 1 di Elena Borgi e Angelo Raffaele Meo.

Personaggi importanti per la storia dell'informatica sono Pier Giorgio Perotto – laureatosi al Politecnico di Torino e in seguito professore presso lo stesso – il quale diede vita al Programma 101, un calcolatore da tavolo con stampante integrata¹⁵ e Corrado Böhm, già professore emerito presso l'Università la Sapienza di Roma, che nel 1970 ottenne una delle prime cattedre d'Informatica in Italia, proprio a Torino. Dal 1970 Corrado Böhm come professore all'Università di Torino, ha lì organizzato l'Istituto di Scienze dell'Informazione fra i primi in Italia dopo quello di Pisa. Le sue ricerche successive si sono concentrate principalmente sul calcolo lambda e sulla logica combinatoria. Suo importante contributo è il Teorema di Jacopini-Böhm, importante per la semantica dei linguaggi di programmazione. Tra le sue allieve vi sono Mariangiola Dezani-Ciancaglini e Simona Ronchi della Rocca, entrambe professoressse emerite dell'Università di Torino.

Simona Ronchi della Rocca ha collaborato con il MuPin in occasione di numerosi eventi dedicati a Ada Lovelace e Mariangiola Dezani-Ciancaglini ha rilasciato un'intervista al Museo.

Questi i motivi legati alla scelta dell'area geografica che hanno portato a creare il MuPin in Piemonte e, specialmente, nell'area torinese.

La missione¹⁶ dell'ente viene declinata nel voler ispirare e educare le future generazioni attraverso il patrimonio storico dell'informatica, promuovendo la consapevolezza e la parità di genere nelle discipline STEM. Il nostro museo si dedica al recupero, al restauro e alla valorizzazione di materiali storici informatici, offrendo una finestra sul passato tecnologico per comprendere le fondamenta su cui si costruisce il futuro. Attraverso eventi, mostre e conferenze miriamo a creare un dialogo inclusivo sul ruolo delle donne e degli uomini nella tecnologia, affrontando il *gender gap* e stimolando l'interesse e la partecipazione attiva dei giovani in ambito STEM. I nostri laboratori di coding e robotica, destinati a ragazze e ragazzi dai 7 ai 14 anni, sono progettati per sviluppare competenze chiave, pensiero critico e creatività, incoraggiando ogni studente a esplorare l'ampio potenziale dell'informatica. La nostra missione è di ispirare curiosità, innovazione e un senso di appartenenza in un campo in rapida evoluzione, sottolineando l'importanza della diversità e dell'inclusione per il progresso tecnologico e sociale.

15. <https://www.storiaolivetti.it/articolo/84-pier-giorgio-perotto-quando-lolivetti-invento-i/>

16. <https://mupin.it/missione-e-finalita/>

A questa si deve abbinare il fine stesso dell'ente che consiste nel diventare un punto di riferimento regionale e nazionale per l'educazione e l'innovazione nell'ambito dell'informatica, catalizzando il cambiamento verso una società più inclusiva e diversificata nel campo STEM. La nostra visione è quella di un mondo in cui ogni individuo, indipendentemente dal genere, dall'età o dal background, abbia accesso alle conoscenze e alle competenze necessarie per navigare e contribuire all'evoluzione tecnologica. Aspiriamo a colmare il divario di genere in STEM, creando un ambiente in cui ragazze e ragazzi siano egualmente rappresentati e valorizzati per le loro capacità e intuizioni e ambizioni. Immaginiamo un futuro in cui il patrimonio storico dell'informatica sia, non solo un testimone del passato, ma anche una fonte di ispirazione e una base solida per l'innovazione futura. Attraverso le nostre attività intendiamo accendere una passione per l'apprendimento, la scoperta e la creazione in campo tecnologico, promuovendo al contempo la consapevolezza della necessità di un'etica e una responsabilità sociale nell'uso della tecnologia. Il nostro obiettivo finale è quello di contribuire alla formazione di una nuova generazione di pensatori, innovatori e leader STEM che valorizzino la diversità, l'equità e l'inclusione come pilastri fondamentali per il progresso tecnologico e il benessere collettivo.

Negli anni, pertanto, sono stati definiti svariati valori che guidano le scelte e le azioni dei soci del MuPIN. Questi sono:

- **Educazione Accessibile:** crediamo nell'importanza di rendere l'apprendimento STEM accessibile a tutti, indipendentemente dalla formazione, genere o età, per ispirare e formare le future generazioni di innovatrici, innovatori e menti critiche.
- **Inclusione e Diversità:** siamo impegnati a promuovere un ambiente inclusivo che valorizzi e celebri la diversità di pensiero, cultura, genere ed esperienza, poiché riconosciamo che sono essenziali per il progresso e l'innovazione tecnologica.
- **Curiosità e Innovazione:** incoraggiamo la curiosità e la passione per l'esplorazione e l'innovazione tecnologica. Sosteniamo l'esplorazione creativa e il pensiero critico come mezzi per scoprire soluzioni innovative ai problemi del mondo reale.
- **Conservazione e Responsabilità:** valorizziamo la conservazione del patrimonio storico informatico come un dovere verso le future generazioni, promuovendo al contempo una riflessione critica sull'impatto sociale ed etico della tecnologia nella società.
- **Collaborazione e Comunità:** promuoviamo la collaborazione tra individui, comunità e istituzioni per costruire una cultura di apprendimento condiviso e per affrontare collettivamente le sfide del divario di genere in STEM.
- **Eccellenza e Qualità:** ci impegniamo a mantenere gli standard più elevati nelle nostre esposizioni, nei programmi educativi e nelle iniziative comunitarie, assicurando esperienze arricchenti e di alta qualità per visitatori e partecipanti.

- **Integrità ed Etica:** agiamo con integrità ed etica in tutte le nostre operazioni, assicurando che le nostre pratiche riflettano il nostro impegno per la giustizia, l'equità e il rispetto per tutti gli individui.
- **Sostenibilità:** riconosciamo l'importanza della sostenibilità ambientale, economica e sociale nelle nostre pratiche e nelle tecnologie che promuoviamo, mirando a un futuro in cui il progresso tecnologico si armonizzi con la salute del nostro pianeta.

Esempio pratico di questi valori, sono l'adesione, nel 2012, alla giornata internazionale dedicata a Ada Lovelace, ovvero l'*Ada Lovelace Day* istituito in Inghilterra nel 2009 da parte della giornalista Suw Charman-Anderson. L'attività è cresciuta sino a coprire più giornate con laboratori, conferenze, spettacoli teatrali, aperitivi di networking.

Un'altra adesione importante è quella, avvenuta nel 2015, relativa ai laboratori didattici denominati CoderDojo, istituiti dalla CoderDojo Foundation in Irlanda. Il MuPIN ha dato vita a un'edizione locale, denominata CoderDojo Torino che organizza laboratori su coding e robotica per ragazze e ragazzi dai 7 ai 14 anni senza alcuna esclusione, ovvero ad accesso libero e gratuito.

Nel mentre, l'attività è rivolta anche ai genitori con mini-conferenze sulla cybersecurity, sull'uso consapevole di internet e degli smartphone. A partire da CoderDojo Torino, per offrire attività simili anche alle scuole, è nato il MuPIN Lab.

Nel 2016 nasce l'evento *A bit of [bi]story* che, ogni anno – prima della pandemia – è stato ripetuto raggiungendo un pubblico sempre più ampio e che nel 2024 torna a essere organizzato. L'evento è un contenitore di più giorni con conferenze e laboratori didattici per le scuole durante la settimana nonché mostre, conferenze e laboratori didattici per tutti gli interessati durante il fine settimana.

Negli anni, nonostante le sfide – tra cui l'alluvione del 2016 che ha danneggiato parte del materiale del museo – il MuPIN ha continuato a crescere e a svilupparsi. Oggi, con una sede di circa 1000 mq, il museo non solo può fungere da spazio espositivo ma anche da centro di archiviazione e ricerca, con piani ben definiti per il futuro. La sua partecipazione a bandi per la valorizzazione della collezione fisica e la digitalizzazione dimostra un impegno verso l'innovazione e l'accessibilità.

Nel recuperare lo spazio e nell'ottimizzarne l'utilizzo, il MuPIN si propone di creare esperienze espositive immersive che narrano la storia dell'informatica attraverso percorsi tematici e interattivi progettati per attrarre un pubblico ampio e diversificato. La dedizione alla ricerca si manifesta nella volontà di sviluppare una sezione dedicata che consenta a studiosi, studenti e appassionati di accedere a risorse preziose per i loro studi sull'evoluzione tecnologica.

La digitalizzazione dell'intera collezione del museo mira a rendere documenti e oggetti storici facilmente accessibili online promuovendo la ricerca e l'educazione a distanza. Un ambizioso progetto prevede la creazione di un metaverso interattivo del MuPIN, utilizzando *gamification* e modelli 3D per offrire un nuovo livello di interazione con la storia dell'informatica, attraendo le nuove generazioni e gli appassionati di tecnologie emergenti.

Il museo è determinato a espandere la propria offerta educativa, includendo laboratori, corsi e attività sia in presenza che virtuali, per scuole, università e per il pubblico generale. La collaborazione con università, aziende tech e altre istituzioni culturali è fondamentale per realizzare progetti congiunti, ampliare l'offerta del museo e garantire il suo sviluppo futuro.

In termini di sostenibilità e inclusione, il MuPin si impegna a adottare pratiche sostenibili e promuovere la consapevolezza ecologica assicurando, al contempo, che il museo e le sue attività siano accessibili e inclusive per tutti. La promozione della diversità, l'uguaglianza di genere e l'integrazione sociale sono al centro dei suoi valori.

Infine, il rafforzamento della presenza online e delle strategie di marketing digitale è cruciale per aumentare la visibilità e l'engagement del museo su scala globale. L'organizzazione di eventi virtuali e streaming consentirà di raggiungere un pubblico internazionale, condividendo il patrimonio e le conoscenze del museo oltre i confini fisici.

Con questi piani per il futuro, il MuPin aspira a consolidare il proprio ruolo come centro di eccellenza nell'educazione tecnologica e nella cultura digitale, influenzando positivamente non solo la comunità locale, ma anche quella nazionale e internazionale.

Il Museo degli Strumenti per il Calcolo dell'Università di Pisa

Elisabetta Mori

Il Museo degli Strumenti per il Calcolo dell'Università di Pisa è strettamente legato alla storia dell'informatica italiana, e annovera tra le sue collezioni alcuni tra i primi computer costruiti in Italia, tra i quali troviamo la Calcolatrice Elettronica Pisana, primo mainframe a destinazione scientifica sviluppato sul suolo italiano, realizzato dall'università a partire dal 1955 e in funzione presso l'ateneo dal 1959 al 1970.

Il Museo degli Strumenti per il Calcolo ha una storia ricca e articolata, iniziata nel 1988, quando il Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa decise di compiere una ricognizione degli strumenti scientifici posseduti dall'ateneo, guidata da Roberto Vergara Caffarelli. Alla ricognizione seguirono la creazione del Centro dipartimentale per la conservazione e lo studio degli strumenti scientifici, afferente al Dipartimento di Fisica e l'inaugurazione, nell'ottobre 1989, di una mostra temporanea di strumenti scientifici al Museo Nazionale di San Matteo di Pisa. A partire dal 1990 si iniziò a pensare all'istituzione di un museo di strumenti scientifici che affiancasse agli strumenti antichi una collezione che fosse incentrata anche sui primi computer. Il 16 aprile 1993 fu nominata con decreto del Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica (MURST) la Commissione Nazionale per il Museo degli Strumenti per il Calcolo, guidata dallo stesso Vergara Caffarelli, istituendo ufficialmente il museo.

Nel 1994 il ministero invitò tutti i centri universitari italiani a trasferire il materiale informatico obsoleto in loro possesso a Pisa. A seguito di un cospicuo finanziamento si formò un gruppo di lavoro che si occupava di organizzare mostre, della catalogazione e dell'immagazzinamento e manutenzione del materiale raccolto da tutta Italia, coordinato dal fisico Claudio Luperini (Luperini e Massai 2018).

Nel 1995 iniziarono i lavori di trasformazione del complesso dei Vecchi Macelli di

Pisa, dati in concessione dal Comune, per ospitare la sede del Museo, mentre in parallelo il Centro dipartimentale per la conservazione e lo studio degli strumenti scientifici organizzava mostre temporanee e altre attività di divulgazione scientifica, acquistando anche una grande raccolta di un collezionista italiano. La collezione include abachi, aritmometri, e registratori di cassa National Cash Register prodotti negli Stati Uniti, risalenti alla fine degli anni Settanta del XIX secolo.

Il museo fu ufficialmente inaugurato il 16 settembre 2000 con la mostra *Computo, ergo sum. Viaggio nella storia del calcolo automatico*. A questa seguirono numerose altre mostre temporanee sia al Museo che in altre sedi pisane e straniere, su Enrico Fermi, Galileo Galilei, Antonio Pacinotti, tra gli altri, e sui *Calcolatori del '900*. Il museo fu gestito dalla Fondazione Galileo Galilei fino al 2012, anno in cui è passato alla gestione del Sistema Museale di Ateneo (SMA). Tra il 2011 e il 2012 ci sono stati alcuni cambi di direzione nella politica del museo. La mostra *La CEP prima della CEP* (13 novembre 2011 - 31 maggio 2012) fu la prima ad essere organizzata dal Dipartimento di Informatica che si propose come riferimento per la collezione di calcolatori. Nel museo si crearono, di fatto, due gruppi di interesse: uno afferente alle collezioni di strumenti scientifici e l'altro alle collezioni di calcolatori e computer. Nel 2013 la direzione del Museo fu assunta da Fabio Gadducci del Dipartimento di Informatica (Cignoni e Gadducci 2013). Nel 2015 il Museo fu anche la sede della terza conferenza internazionale di Storia e Filosofia dell'Informatica, *HaPoC 2015*. Le due collezioni sono state gestite in parallelo fino al 2017 quando è stato costituito anche il Museo degli Strumenti di Fisica, in cui sono confluiti gli strumenti di astronomia, di fisica, e alcuni fondi archivistici pertinenti. Al Museo degli Strumenti di Fisica si è quindi affiancata la Ludoteca Scientifica, entrata nel 2020 nel Sistema Museale di Ateneo, anch'essa collocata nell'area dei Vecchi Macelli (Bodei, Gadducci, e Lettieri 2022).

I due musei sono chiusi per ristrutturazione dall'ottobre del 2019 ma continuano la loro opera di divulgazione scientifica. Il Museo degli Strumenti di Fisica all'interno della Ludoteca Scientifica, e il Museo degli Strumenti per il Calcolo al Polo dell'Università Le Benedettine, dove parte della collezione è in esposizione nella mostra *Hello World! Dall'aritmometro allo smartphone*. La mostra è stata organizzata nell'ambito delle celebrazioni per i cinquant'anni dall'istituzione a Pisa del primo curriculum italiano in informatica.

Come si evince sia dal suo titolo che dalla sua storia, il Museo ha una vocazione principalmente hardware e possiede una ricca collezione di calcolatori meccanici ed elettrici da scrivania (Cignoni 2013), grandi calcolatori prodotti tra gli anni Cinquanta e Novanta del Novecento, mini e personal computer, e calcolatrici tascabili.

Tra i computer più importanti nelle collezioni del museo si trova la Calcolatrice Elettronica Pisana, anche nota con il suo acronimo CEP. Nata grazie all'iniziativa dell'Università di Pisa in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e l'Olivetti di Ivrea è stato il primo computer scientifico progettato in Italia, dall'Università di Pisa. Fu inaugurata ufficialmente nel novembre 1961, rimase in funzione come computer al servizio dell'ateneo fino al 1970. È stata esposta al Museo fin dal 2002 ed è pressoché completa in tutte le sue parti, che includono la memoria a nuclei di ferrite, le varie componenti a valvole termoioniche e i primi transistor, lettori di nastro perforato, *console* di

comando. La dotazione della CEP include anche la memoria ausiliaria a tamburo sviluppata nel Laboratorio di Ricerche Elettroniche Olivetti a New Canaan, in Connecticut, USA. La CEP fu prodotta in un unico esemplare e dato l'ottimo stato di conservazione è una testimonianza preziosa per i ricercatori e gli storici. Il museo possiede anche una ricostruzione di un addizionale a scopo didattico.

Dei computer Elea, la serie di mainframe sviluppati da Olivetti negli stessi anni della CEP e con un fecondo scambio di informazioni, personale e brevetti con l'ateneo pisano, il Museo possiede un esemplare di Elea 6001, versione ridotta per potenza, dimensioni e prezzo del più celebre Elea 9003 (Mori 2020). Il computer è completo di periferiche come i lettori di nastro magnetico e il CBN, convertitore banda magnetica-nastro perforato. Il mainframe proviene dal Centro Acquisizione Elaborazione Dati CAED di Mestre che ha anche donato al Museo computer Bull Gamma 3, un mainframe a valvole termoioniche lanciato sul mercato dalla francese Compagnie des Machines Bull nel 1952 e consegnato per la prima volta a un cliente nel 1953.

Un altro pezzo unico conservato dal Museo degli Strumenti per il Calcolo è il CINAC, proveniente dal CNR di Roma. È il computer di cui si dotò l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo nel 1966, dopo il Ferranti Mark I* acquistato dal Regno Unito e installato nel 1955. Rinominato CINAC (contrazione di Computer-INAC, in analogia con il Ferranti-INAC chiamato "FINAC") si tratta di un esemplare unico di Olivetti Elea 9104, prodotto dall'azienda di Ivrea con un design particolare di alcuni elementi, composti da un montante centrale e bracci a 120 gradi che si ritrova anche nella serie Elea 4001. Questo design particolare è stato recentemente attribuito all'architetto Ettore Sottsass Jr. (Mori 2021).

Il Museo ha preservato anche il terminale audio TAU2, costruito all'Istituto di Elaborazione dell'Informazione (IEI) del CNR di Pisa tra il 1973 e il 1975. Il sistema TAU2-TAUMUS era un complesso hardware-software che consentiva la memorizzazione, composizione, rielaborazione ed esecuzione in tempo reale di brani musicali. Rimase in funzione fino al 1987, e in seguito fu donato al Conservatorio Cherubini di Firenze. Il programma TAUMUS era eseguito su computer IBM 370/168 presso il CNUCE di Pisa (Via Santa Maria 36) mentre il terminale audio TAU2 si trovava presso l'IEI (al civico 46 della stessa via). Il computer e il terminale audio erano collegati tramite cavo parallelo. Dalla sala del TAU2 si poteva accedere direttamente al computer tramite un cavo seriale. Oppure si poteva accedere al computer da un'altra località tramite modem-linea dati della rete SIP. L'uscita del TAU2 poteva essere ascoltata nella sala stessa oppure in remoto attraverso la linea fonica della rete SIP (Tarabella 2019).

Tra le collezioni del museo troviamo anche alcuni prototipi del progetto APE - Array Processor Experiment provenienti dalla sezione pisana dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, creati a partire dal 1987 per risolvere complessi problemi di fisica teorica delle particelle elementari.

Il museo possiede anche un supercalcolatore parallelo nCUBE 2 proveniente dal CNUCE e tre CRAY (nei modelli XMP, YMP2E, e T90) prodotti tra gli anni Ottanta e Novanta del Novecento donati al Museo dal Centro Ricerche Enel di Pisa.

Tra i piccoli calcolatori e minicomputer ricordiamo che il Museo possiede diverse Olivetti Programma 101, di cui una funzionante e una Programma 203, in corso di re-

stauro. Queste sono solo una parte di un'estesa collezione di calcolatori da tavolo e una ricca collezione di PC da scrivania e portatili italiani e stranieri.

Sul fronte software, in tempi più recenti, la collaborazione tra Università di Pisa e Software Heritage, l'iniziativa supportata dall'UNESCO che ha come obiettivo l'archivio universale del codice sorgente, ha contribuito al recupero e all'archiviazione di software storico sviluppato a Pisa, come TAUMUS e MAGMA-Lisp, per citarne alcuni¹⁷.

Nel 2021 il museo ha iniziato il progetto Pionieri dell'informatica, una raccolta video di storie orali dei protagonisti della storia dell'informatica degli anni Cinquanta e Sessanta del Novecento, in collaborazione con Acquario della Memoria. Alcune di queste interviste sono state usate come base per la creazione di un podcast in sei puntate, lanciato all'interno del programma di Internet Festival, un evento annuale della città di Pisa, dedicato a esplorare e discutere le nuove frontiere del web, dell'innovazione digitale e della cultura digitale in generale. Le interviste sono state presentate nel novembre 2021 durante il convegno organizzato in occasione dei sessanta anni dall'inaugurazione della Calcolatrice Elettronica Pisana, dal titolo *1961: L'anno che cambiò l'informatica italiana*.

Il Museo Tecnicamente di Ivrea

Andrea Tendola, Vittorio Pasteris

La Fondazione Natale Capellaro celebra l'eredità del visionario progettista che ha contribuito in modo significativo al successo globale dell'Olivetti attraverso la creazione di numerose macchine da calcolo meccanico.

L'impegno di Natale Capellaro oggi si concretizza nel Laboratorio Museo Tecnologico@mente, un'istituzione dedicata al mondo delle macchine da scrivere e del calcolo, che abbraccia l'evoluzione dall'era meccanica a quella digitale, con particolare enfasi su Ivrea e sull'azienda Olivetti e il suo ricco patrimonio culturale e storico.

Un comitato ha preso forma nel 2002 da un gruppo di appassionati collezionisti di Ivrea, i quali hanno organizzato un convegno commemorativo per il centenario della nascita di Natale Capellaro, accompagnato da una mostra intitolata *Le macchine sapienti di Natale Capellaro*. Nel settembre 2003, il comitato della Fondazione Natale Capellaro è stato ufficialmente fondato, segnando l'inizio del percorso che ha portato, nel novembre 2005, alla realizzazione del Museo.

Nel corso degli anni, il museo ha partecipato a numerose iniziative culturali, tra cui esposizioni di rilievo come *E poi... venne l'Olivetti. Il mondo dell'ufficio prima del 1908* e *La Programma 101 e il cembalo scrivano, due primati italiani*. Altre esposizioni includono *I numeri 1 di Olivetti* al Festival dell'Innovazione di Bari e al Quirinale di Roma, e la partecipazione alla cerimonia di apertura dell'anno scolastico 2013-2014 con la presenza del Presidente della Repubblica. Nel 2015, il museo è stato onorato dalla visita del Presidente del Consiglio a Palazzo Chigi, dove è stata esposta la Programma 101 insieme ai suoi inventori Gastone Garziera e Giovanni De Sandre.

17. Per ulteriori dettagli si veda <https://stories.softwareheritage.org>

Sempre nel 2015, l'evento *5010* ha celebrato i dieci anni di vita del Laboratorio Museo *Tecnologic@mente* e il cinquantésimo anniversario dalla presentazione della Programma 101 a New York.

Dal 2021, il Laboratorio Museo Tecnologicamente ha trasferito la sua sede in Via Giuseppe di Vittorio 29, nel cuore dell'area di Ivrea, riconosciuta dall'UNESCO come Patrimonio dell'Umanità per la sua importanza storica nel contesto dell'industria del XX secolo.

La collezione permanente del museo conta più di 1500 oggetti, tra cui vere rarità su un percorso di oltre 1500 mq. Le macchine sono visibili e utilizzabili grazie alla presenza di un Laboratorio di restauro che si prende cura di ogni prodotto e dedica un servizio di intervento anche agli utenti esterni. Le macchine diventano parte integrante della didattica e offrono un'esperienza unica e immersiva per conoscere le radici della storia dell'Olivetti.

La sezione museale comprende esposizioni dedicate a Camillo Olivetti, Natale Capellaro e Pier Giorgio Perotto, con una vasta gamma di macchine per scrivere e calcolatrici meccaniche ed elettroniche prodotte dall'Olivetti tra il 1905 e il 1967. Pezzi preminenti includono la MC4, la Divisumma 14, la Olivetti Logos 27, la Logos 328 e la Divisumma 18, testimonianze tangibili dell'evoluzione tecnologica nel campo del calcolo. Inoltre, una sezione dedicata ai personal computer, in onore di Roberto Olivetti, espone una collezione di 36 modelli che spaziano dall'Olivetti P203 al M24 e al Quaderno. Tra le attrazioni più significative del museo vi sono la Programma 101, il primo calcolatore da tavolo della storia, e parti del primo computer a transistor della storia, l'Elea 9003.

Oggi la vera vocazione del laboratorio museo è la formazione specialistica, con attività didattiche basate sul *tinkering* (imparare facendo) e contando sulla presenza di macchine e tecnologie rare, coinvolgendo e stimolando le nuove generazioni. La Fondazione ha come mandato istituzionale la raccolta, la custodia e la valorizzazione del patrimonio industriale dell'Olivetti.

Nel corso degli anni, il museo è cresciuto in modo "additivo" introducendo nuove esperienze e sezioni. Oggi, *Tecnologic@mente* viene visitato per interagire con i laboratori STEM, per vedere la collezione, partecipare a eventi e organizzare riunioni aziendali e convegni o per festeggiare una laurea o un compleanno in modo originale.

Il Laboratorio Museo, con cinque persone in organico e 65 volontari – molti dei quali ex lavoratori dell'Olivetti – e con oltre 10 coadiutori che prestano la loro professionalità, ha visto crescere il numero dei visitatori fino a superare le cifre registrate pre-pandemia, con una stima di oltre 10 000 visitatori nel corso del 2024, di cui circa 4 500 studenti.

L'intenzione è che il Laboratorio Museo *Tecnologic@mente* possa sempre essere protagonista nell'innovazione digitale e nel percorso storico industriale dell'Italia e del mondo, raccontando alle nuove generazioni la passione per la tecnologia, la cultura del sapere e la determinazione nel fare, per rendere migliore la società, come l'Olivetti ha insegnato.

Collezione il codice sorgente

Stefano Penge

Uno dei problemi citati nell'introduzione di questo contributo è quello relativo alla possibilità di raccogliere, catalogare ed esporre quegli artefatti che costituiscono una parte fondamentale dell'informatica: i codici sorgenti.

Perché collezionare il codice sorgente

Il codice sorgente fa parte del patrimonio culturale dell'umanità. Con le parole della Paris Call (UNESCO/INRIA, 2018) "*We recognise software source code as a precious asset of humankind, intersecting with human creativity, development, society and culture*"¹⁸. Attraverso lo studio del codice possiamo capire come non solo l'informatica, ma l'intera società si sia evoluta negli ultimi settant'anni. Il codice sorgente non è solo un fatto tecnico, ma è una parte fondamentale della cultura della fine del secondo millennio – e presumibilmente di tutto quello appena iniziato. Senza prendere troppo sul serio il famoso aforisma di Edsger Wybe Dijkstra: "L'informatica non riguarda i computer più di quanto l'astronomia riguardi i telescopi", studiare la storia dell'informatica senza considerare il codice sorgente sarebbe una grave mancanza. La scrittura dei codici sorgenti è stato un fatto storicamente determinato, influenzato non solo dall'hardware disponibile ma dalla sempre nuova disponibilità di linguaggi di programmazione, di paradigmi, di standard e poi di stili o addirittura di mode. Questo è vero anche in Italia, che ha una grandissima tradizione nella ricerca teorica e applicativa sui linguaggi di programmazione (si pensi ai contributi di Jacopini e Böhm tra gli altri).

Questo paragrafo è dedicato ad approfondire questo tema importante; purtroppo non è possibile fornire un esempio di museo del codice sorgente italiano perché al momento non esiste. Una mancanza che non è solo italiana, ma riguarda tutto il mondo; mentre esistono musei che catalogano i programmi (lo stesso MuPIN citato in questo contributo ne raccoglie molti), esistono musei che catalogano anche alcuni codici sorgenti storici significativi (come il Computer History Museum¹⁹), non esistono musei incentrati sui codici sorgenti come oggetti culturali significativi e sui linguaggi di programmazione, sulle persone e i contesti che li hanno resi possibili. Questa mancanza dev'essere analizzata e, se possibile, colmata al più presto.

Ostacoli e soluzioni

I centri di ricerca pubblici italiani e le Università hanno prodotto negli ultimi settant'anni una quantità ragguardevole di codice sorgente nell'ambito di progetti finanziati, di ricerche istituzionali, di tesi di laurea e dottorato²⁰; alcuni di questi progetti sono citati negli altri contributi di questo volume. Tuttavia, è molto raro che tale software sia oggi disponibile per uno studio del codice sorgente.

18. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366715>

19. <https://computerhistory.org/>

20. Per fare un solo esempio, l'Istituto per le Applicazioni del Calcolo "Mauro Picone" conserva la documentazione delle subroutine della libreria FINAC (Ferranti-INAC-Computer, attivo dal 1955 al 1967). Per ogni subroutine c'è la descrizione, la modalità d'uso, il codice sorgente. <https://www.iac.cnr.it/book/arriva-il-finac>

Per motivi diversi, anche il codice sorgente prodotto dai centri di ricerca privati è di difficile reperimento e catalogazione. A partire dal software protetto da privative, soggetto a limitazioni che ne impediscono il rilascio anche anni dopo la fine del loro uso, passando per le riorganizzazioni, gli spostamenti di sede delle unità di produzione eccetera. Ad esempio, il software prodotto da Olivetti in tanti anni per le proprie macchine (dal sistema operativo ai linguaggi e agli applicativi) non è consultabile dagli studiosi nemmeno presso gli archivi storici Olivetti o presso il museo gestito dalla Fondazione Natale Capellaro a Ivrea.

Sono almeno quattro i problemi che rendono difficile il censimento, la conservazione e la pubblicazione dei codici sorgenti.

La deperibilità dei supporti

I codici sorgenti sono stati registrati su una moltitudine di supporti diversi: dalle *core rope memory* alle schede perforate, dai nastri ai dischi ottici, dalla carta fino alle memorie a stato solido. La durata di vita di questi supporti è molto variabile; paradossalmente, i codici sorgenti stampati su carta sono spesso le uniche versioni rimaste. Sono note le vicende relative ai CD-R che dopo essere stati presentati come supporti a vita infinita si sono scoperti fragili e soggetti a perdita di dati per l'azione degli agenti atmosferici. Occorre perciò che vengano raccolti, convertiti e conservati al più presto il maggior numero di codici sorgenti storici. È quello che sta facendo il progetto Software Heritage, nato a Parigi presso l'INRIA ma che recentemente ha stabilito un accordo con l'ENEA²¹ per replicare un nodo di archiviazione e consultazione del codice sorgente.

La disponibilità di ambienti in grado di leggere quei supporti

Nel caso in cui il supporto sia quello originale, la difficoltà diventa quello di leggere il supporto. Occorre che esistano, e siano accessibili, i calcolatori per i quali quel codice era stato scritto, insieme ai dispositivi di input relativi. Non si tratta solo di una questione hardware: a volte quello che manca è il software (dal sistema operativo in su) in grado di interpretare i file presenti sul supporto, quando non si tratta di un formato standard. Da questo punto di vista, la stessa possibilità di studiare il codice richiede un dialogo con i responsabili delle collezioni di calcolatori storici.

La mancanza di uno standard di catalogazione unico

Come per l'hardware (vedi l'introduzione di questo capitolo), manca uno standard di catalogazione riconosciuto per i codici sorgenti che permetta di aggregare collezioni ed effettuare una ricerca trasversale. Esistono alcune proposte; nel prossimo paragrafo ne suggeriamo una embrionale costruita a partire dal Dublin Core.

La difficoltà di esporre il codice sorgente

I codici sorgenti sono oggetti che possono essere molto grandi. Anche se i codici storici sono tendenzialmente più piccoli di quelli che vengono scritti attualmente, si

21. <https://ict.enea.it/event/software-heritage-a-contemporary-archive-for-the-future/>

tratta sempre di documenti molto grandi, che possono essere conservati ma che non ha senso esporre nella loro interezza. Il codice sorgente è un testo scritto in qualche linguaggio di programmazione; senza conoscere quel linguaggio, il testo è completamente incomprensibile. Questa difficoltà è risolvibile con un apparato di metadati e commenti, ma anche con un'attività di formazione laboratoriale, in cui si introducono i concetti fondamentali e si procede a un *close reading* di frammenti.

Eccezioni

Esistono, a onor del vero, almeno due progetti italiani di collezioni di codici sorgenti, anche se solo virtuali. A nostra conoscenza, questi due progetti sono anche unici nel mondo:

1. Il primo è il sito <https://www.codeshow.it/> che è stato realizzato dall'associazione Codexpo.org come un'esposizione navigabile dedicata ai più giovani. La mostra è composta da quindici stanze e da 138 pannelli; può essere esplorata a partire dagli oggetti (alcuni codici sorgenti particolarmente significativi) o dalle interfacce che si usano per leggerli e scriverli. Si può partire dai concetti di fondo o, se si è curiosi, si può iniziare dagli attori, cioè le persone che inventano linguaggi o scrivono programmi, dalle loro storie. Vengono esposte anche opere artistiche – come gli esempi di poesie scritte in Perl negli anni Novanta - e porzioni di software storici scritti in linguaggi ormai poco utilizzati. Ad esempio, nella mostra è presentato il codice del progetto TAUmus²² sviluppato in FORTRAN negli anni Settanta da Pietro Grossi. Tutti i testi sono multilingue (italiano, inglese e francese). Codexpo.org può essere visitato tramite browser o essere ricercato tramite API. La mostra è basata su un'applicazione LAMP originale sviluppata da Codexpo.org e rilasciata con licenza GPL.
2. Il secondo è il sito <https://www.museumofcode.net>. Si tratta di un progetto appena nato, frutto della collaborazione tra Codexpo.org e il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino, realizzato grazie ai fondi della Terza Missione e presentato per la prima volta nel corso del primo festival del codice sorgente (Codefest 2021). Il Museo è nato per soddisfare l'esigenza scientifica di censire codici sorgenti significativi, catalogarli, renderli ricercabili e accessibili da parte di ricercatori e studenti di informatica. Il museo non si limita ai codici sorgenti, ma ospita quattro collezioni diverse: Linguaggi, Persone, Manuali, Codici. Ogni scheda è catalogata secondo uno schema derivato dagli elementi Dublin Core, con campi variabili a seconda del tipo: *Title, Subject, Description, Creator, Source, Right, Format, Language, Date, Type, Identifier, Collection, Tags, Citation*. Il museo permette una visita diretta, tramite un browser, ma è accessibile anche tramite API che restituiscono dati in formato JSON. Gli *endpoint* sono tre: *api/items*, *api/tags*, *api/resources*. Il museo è realizzato con Omeka,²³ un'applicazione LAMP sviluppata presso il centro Roy Rosenzweig for History and New Media, che è una parte del Dipartimento di Storia e Storia dell'arte della George Mason University, nello stato della Virginia.

22. <https://www.codeshow.it/Codici/TAUmus>

23. <https://www.omeka.org>

Conclusioni

Raccogliere, preservare e comunicare la storia dell'informatica italiana, obiettivo di quest'opera, è anche la ragion d'essere dei musei di informatica. Tuttavia, nessun lavoro di ricostruzione e catalogazione di questa particolare categoria di musei è mai stato portato a termine, se si eccettua l'articolo seminale di Hénin e Cerri del 2015. La conservazione, catalogazione ed esposizione degli artefatti digitali è un tema affascinante e complesso, a partire dalla questione stessa della catalogazione, come abbiamo visto nell'introduzione. Il dominio pone problemi specifici anche su cosa va conservato e come, data la varietà di elementi coinvolti: interi calcolatori e loro parti, manuali, codice.

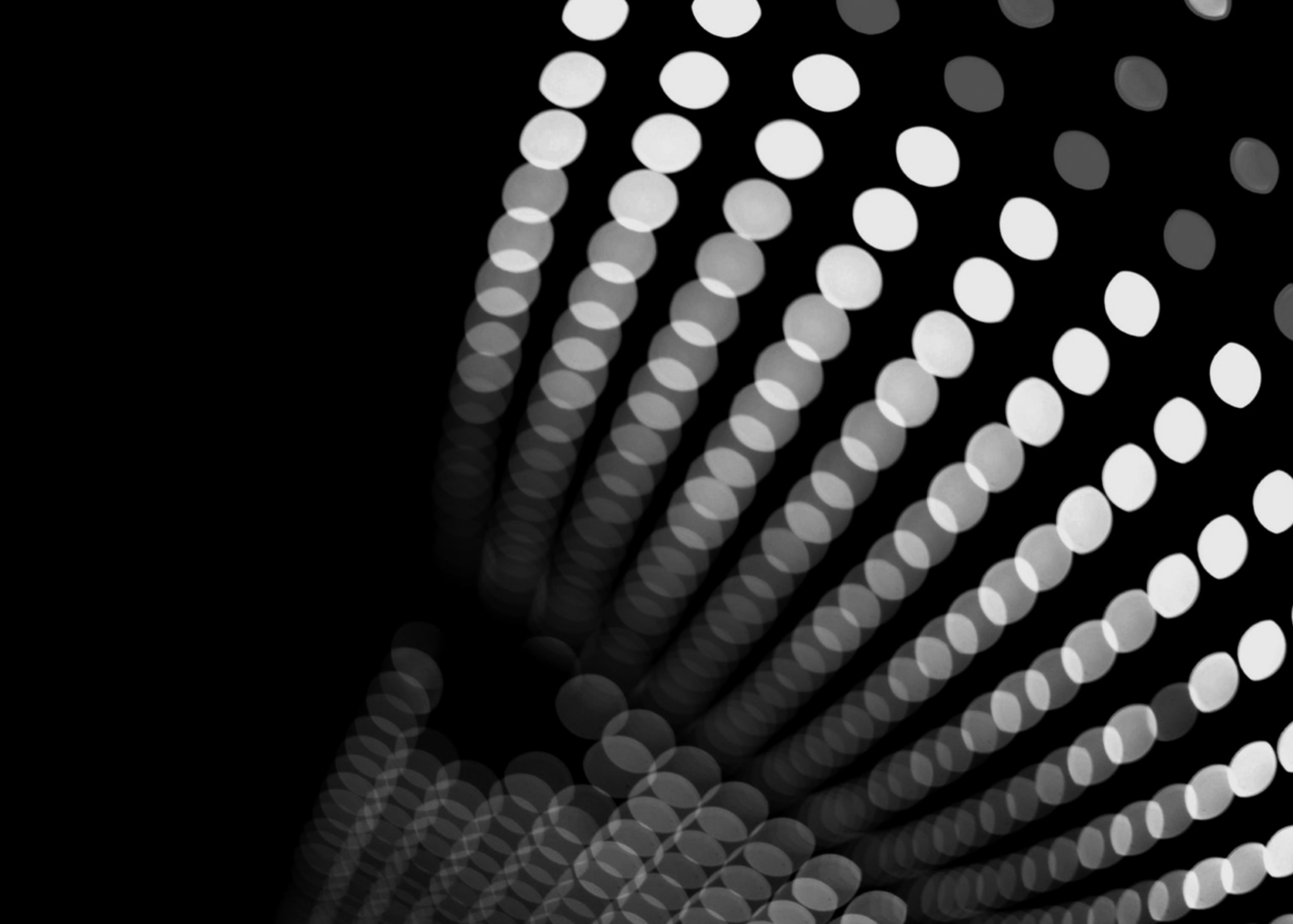
Esistono, oggi in Italia, almeno una cinquantina di collezioni pubbliche e/o private, nate con obiettivi diversi e gestite con modalità differenti: universitarie, associative, specializzate. Abbiamo presentato in dettaglio cinque esempi: il Museo dell'Università di Bari, il Museo di Storia dell'Informatica del Dipartimento di Informatica dell'Università di Verona, il Museo Piemontese dell'Informatica, il Museo degli Strumenti per il Calcolo dell'Università di Pisa, il Museo Tecnicamente di Ivrea. Il contributo è arricchito da un paragrafo sulla necessità e urgenza di preservare anche i codici sorgenti e sui progetti italiani relativi. Ci auguriamo che questo nostro testo costituisca il primo di una lunga serie di contributi dedicati alla ricostruzione di una storia completa dei musei e delle collezioni di informatica in Italia.

BIBLIOGRAFIA

- Aspray, William, Len Shustek, e Norbert Ryska. 2010. "Computer museum series Great computing museums of the world, part one." *Communications of the ACM*, vol. 53, n. 1, pp. 43-46. DOI: 10.1145/1629175.1629193
- Bodei, Chiara, Fabio Gadducci, e Giuseppe Lettieri. 2022. "Una storia nazionale: il Museo degli Strumenti per il calcolo." *Annali di Storia delle università italiane*, (1): 137-149.
- Burnet, Maxwell M., e Robert M. Supnik. 1996. "Preserving Computing's Past: Restoration and Simulation." *Digital Technical Journal*, vol. 8, n. 3, pp. 23-38. DOI: 10.5555/246547.246549
- Cignoni, Giovanni A., e Fabio Gadducci, cur. 2013. *La CEP prima della CEP: storia dell'informatica. Divulgazione scientifica e didattica sperimentale. Atti del convegno, Pisa 11-12 novembre 2011*. Pisa: Pisa University Press.
- Cignoni, Giovanni A., cur. 2013. *Dall'aritmometro al PC. La storia del calcolo personale nelle collezioni del Museo degli Strumenti per il Calcolo*. Pisa: Pisa University Press.
- Di Cosmo, Roberto. 2022. "Should We Preserve the World's Software History, And Can We?" *Linking Theory and Practice of Digital Libraries. Proceedings of 25th International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries, TPDL 2021*. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-031-16802-4_1.pdf
- Ferilli, Stefano, e Domenico Redavid. 2019. "An ontology and a collaborative knowledge base for history of computing." In *Proceedings of the 1st International Workshop on Open Data and Ontologies*

- for Cultural Heritage* (ODOCH-2019), a cura di Carlo Meghini, e Antonella Poggi. 2375: 49-60. <https://ceur-ws.org/Vol-2375/paper5.pdf>
- Foti, Petrina. 2020. *Collecting and Exhibiting Computer-Based Technology: Expert Curation at the Smithsonian Institution*. Abingdon, Oxon e New York, NY: Routledge.
- Grad, Burton. 2021. "Collecting Computing History is Everyone's Job." *IEEE Annals of the History of Computing*, 43(1):97-98. DOI: 10.1109/MAHC.2021.3059117
- Hénin, Silvio, e Luca Cerri. 2015. "Musei e raccolte di storia dell'informatica in Italia." *Mondo Digitale*, vol. 60, Nov. 2015.
- Karp, Cary. 2014. "Digital Heritage in Digital Museums." *Museum International*, vol. 66, n. 1-4, pp. 157-162. DOI: 10.1111/muse.12069
- Luperini, Claudio, e Marco M. Massai. 2018. "Un Museo del Calcolo, a Pisa: perché? come?" *Il Rintocco del Campano* 1-2-3.18 (Genn.-Dic.): 78-99.
- Mandarano, Nicolette. 2019. *Musei e media digitali*. Roma: Carocci.
- Mori, Elisabetta. 2020. "Olivetti Elea Sign System: Interfaces Before the Advent of HCI." *IEEE Annals of the History of Computing*, 42 (4): 24-38.
- Mori, Elisabetta. 2021. "Sottsass Sconosciuto: Design di Computer per Olivetti e General Electric negli Anni Sessanta." In *Identità Olivetti. Spazi e linguaggi 1933-1983*, a cura di Davide Fornari, e Davide Turrini. Zurigo: Triest Verlag.
- Parry, Ross. 2005. "Digital heritage and the rise of theory in museum computing." *Museum Management and Curatorship*, 20:4, 333-348. DOI: 10.1080/09647770500802004
- Penge, Stefano. 2019. "Per un museo del codice sorgente." *Mondo Digitale*, 219 (3). https://mondo-digitale.aicanet.net/2019-3/Rubriche/01_MD82_Per_un_museo_del_codice_sorgente.pdf
- Rojas, Raul, e Ulf Hashagen, cur. 2002. *The First Computers. History and Architectures*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Shustek, Len. 2006. "What Should We Collect to Preserve the History of Software." *IEEE Annals of the History of Computing*, 28(4):111-112. DOI: 10.1109/MAHC.2006.78
- Spicer, Dag. 2023. "Computer History Museum Update." *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 45, n. 1, pp. 88-93. DOI: 10.1109/mahc.2023.3244079
- Tarabella, Leonello, cur. 2019. *L'informatica musicale a Pisa. L'esperienza di Pietro Grossi al CNUCE e all'IEI istituti del CNR*. Pisa: Pisa University Press.
- Williams, Michael. 2003. "The computer history museum." *ACM SIGCSE Bulletin*, 35(4): 12-13. DOI: 10.1145/960492.960498

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprema-vol3-37>



A. I. C. A.
ASSOCIAZIONE ITALIANA
PER IL CALCOLO AUTOMATICO
PIAZZALE DELLE SCIENZE, 7 - ROMA

1° CONGRESSO A.I.C.A. 1963
BOLOGNA, PALAZZO DEL PODESTÀ, PIAZZA NETTUNO
19-22 MAGGIO 1963

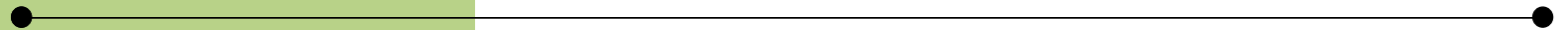
Organizzato in collaborazione con
l'Ente Autonomo per le Fiere di Bologna

38

**Informatica
e società**

Emanuela Scalzotto

L'archivio storico dell'AICA



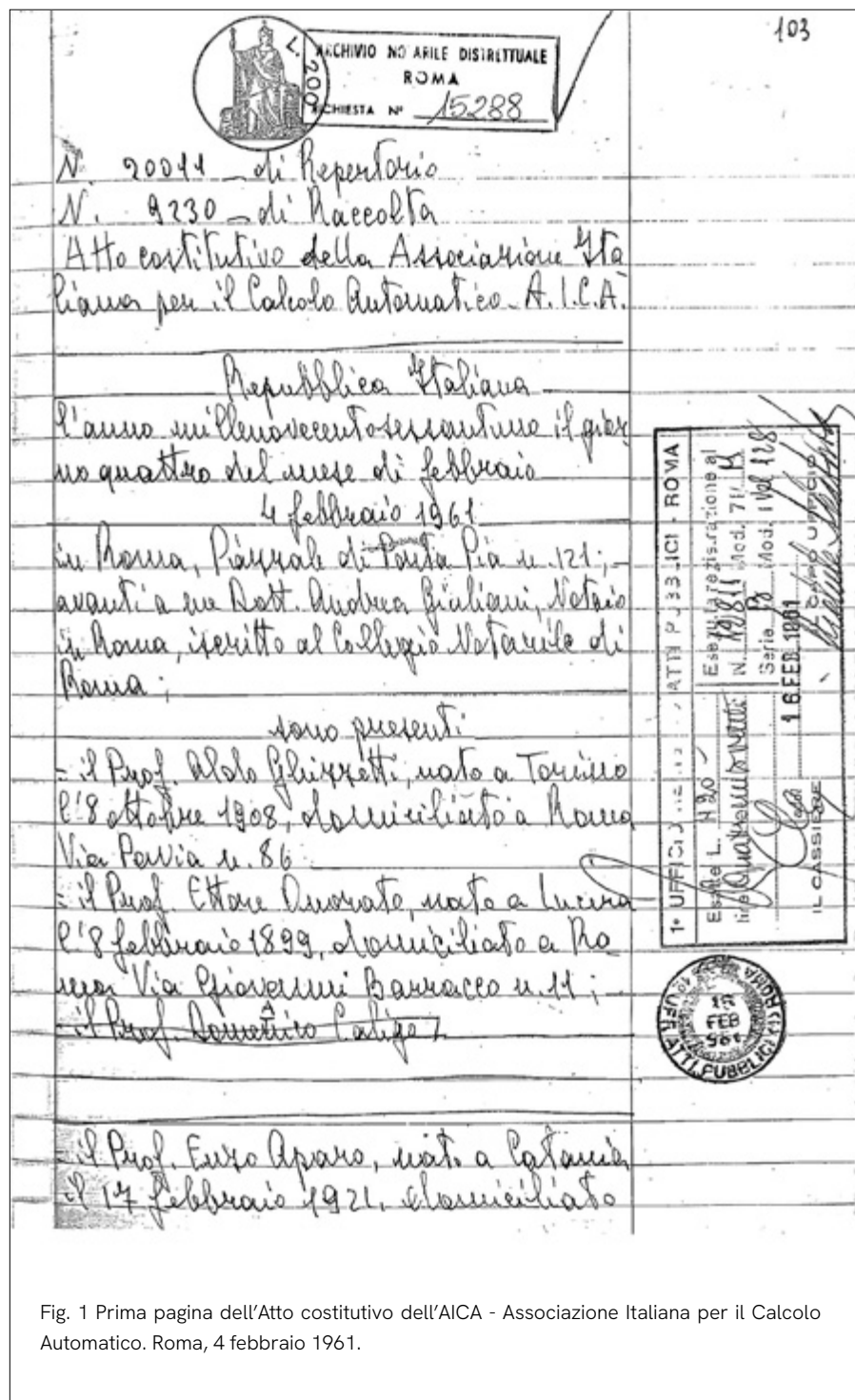


Fig. 1 Prima pagina dell'Atto costitutivo dell'AICA - Associazione Italiana per il Calcolo Automatico. Roma, 4 febbraio 1961.

Premessa

In questo articolo sono elencati e descritti i documenti, le riviste e le pubblicazioni storiche che sono stati riordinati e conservati presso la sede centrale dell'Associazione Italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico (AICA). Completa l'articolo una lunga lista di congressi, convegni, giornate di studio e incontri che l'associazione ha organizzato fin dal 1961, anno della sua costituzione.

Questa raccolta costituisce un patrimonio culturale che testimonia l'evoluzione dell'informatica italiana.

L'archivio è stato trasferito dalla prima sede centrale dell'associazione, che dal febbraio 1961 al giugno del 1969 era presso l'INAC (Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo) a Roma, alla sede temporanea, sempre a Roma, presso l'Editoria Elettronica (1970-1971) e infine alla sede di Milano (1972) presso la FAST (Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche fondata nel 1897) che è la "casa" delle più qualificate associazioni culturali che svolgono la loro attività nell'ambito delle discipline scientifiche e tecniche e delle loro applicazioni.

L'archivio storico

L'archivio storico è stato riordinato seguendo un ordine per pertinenza dei documenti e data di pubblicazione. Fanno parte dell'archivio:

L'Atto Costitutivo

dell'Associazione Italiana per il Calcolo Automatico firmato a Roma il 4 febbraio 1961 dai soci fondatori avanti il notaio Andrea Giuliani. (Fig. 1). Il nome dell'associazione cambierà in Associazione Italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico negli anni Ottanta sotto la presidenza di Giorgio Sacerdoti che ne è stato presidente per 3 mandati: dal 1970 al 1976 (due mandati consecutivi) e dal 1982 al 1985.

Le edizioni dello Statuto e del Regolamento Generale dell'Associazione

1961; 1968; 1975; 1978; 1981; 1985; 2003; 2012. L'edizione in vigore (agg. 2015) è pubblicata online sul portale dell'Associazione, completano lo Statuto: il Codice Etico (agg. 2015), il Codice di Condotta Professionale (agg. 2015), il Regolamento delle Sezioni territoriali (agg. 2015) e il Regolamento Soci (agg. 2017).

I libri sociali

a cura del Segretario Generale in carica che sono costituiti dai "Verbali delle sedute del Consiglio direttivo" e dai "Verbali delle Assemblee generali dei soci". Sono presenti in archivio tutti i verbali dal 1961 ai giorni nostri.

La raccolta delle circolari storiche

inviata ai soci dal 1961 al 1972 (dalla n. 1 alla n. 32). Questo documento di oltre 200 pagine racconta la nascita dell'associazione, le sue finalità, le attività svolte o in corso di

organizzazione da parte delle sezioni territoriali e dei gruppi di lavoro, raccoglie, inoltre, i verbali delle assemblee generali, i verbali delle riunioni del consiglio direttivo, i contatti nazionali e internazionali¹ dell'associazione e quanto avvenne nel mondo in quell'epoca. Dalla circolare n. 1 del 31 marzo 1961:

Diffusione di notizie sull'A.I.C.A. Coloro ai quali viene inviata questa circolare sono vivamente pregati di voler diffondere le notizie concernenti l'A.I.C.A. a tutte le persone che potessero essere interessate a divenire soci od a collaborare con essa.

La Presidenza dell'A.I.C.A. sarà lieta di inviare copie della presente circolare e dello Statuto agli indirizzi che le verranno segnalati.

L'elenco dei soci

il primo elenco dei soci AICA è stato pubblicato nella circolare n. 3 del 19 maggio 1961. A quella data facevano parte dell'associazione 155 soci ordinari e 25 soci collettivi, fra cui aziende come ENI, FIAT, IBM, Olivetti, Remington Rend oltre ai centri di calcolo delle università italiane ed enti pubblici come l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo (INAC) e l'Istituto per la Ricostruzione Industriale (IRI). Anche il secondo elenco è stato pubblicato in una circolare ai soci, la n. 13 del 21 luglio 1963 in cui risultano oltre 900 i soci ordinari; 80 i soci collettivi e 30 i soci juniores (oggi soci studenti). Negli anni successivi l'elenco dei soci è stato pubblicato o come supplemento alla Rivista di Informatica – come quello del 1972 (supplemento al vol. III n. 3, settembre 1972) e quello del giugno 1975 – oppure inserito nell'Annuario dei soci del 1991.

Gli anniversari dell'Associazione

sono monografie che ripercorrono nel tempo le origini dell'associazione, la sua struttura, i collegamenti internazionali, gli eventi, le attività culturali, i progetti, le pubblicazioni e uno sguardo al futuro. Le edizioni pubblicate sono: “1961-1971 Dieci anni di attività”; “1961-1986 i primi 25 anni dell'Associazione”; “1961-1991 Annuario dei Soci” pubblicato in occasione dei 30 anni dell'Associazione; “2011 Attraverso le rivoluzioni informatiche. AICA: i primi cinquant'anni” pubblicato come supplemento alla rivista Mondo Digitale n. 1, marzo 2011. Nel 2021 l'anniversario dell'Associazione è stato celebrato con un evento live dal titolo #60AnnidiFuturo. All'evento hanno partecipato rappresentanti del mondo accademico, istituzionale e d'impresa. La registrazione è disponibile online.

Cosa è AICA

La brochure istituzionale cartacea ha, ancora oggi che viviamo nell'epoca del web, un valore inestimabile per comunicare cos'è l'associazione, la sua storia, la *mission* e la vision. La prima edizione recuperata risale al settembre 1981, le edizioni successive sono state stampate negli anni 1990, 1997, 2005, 2010, 2014, 2019 e 2022; quest'ultima è disponibile anche online sul portale dell'associazione.

1. I primi contatti con l'IFIP (International Federation for Information Processing) risalgono al 1961 e con l'ACM (Association for Computer Machinery) al 1962.

Le riviste, i supplementi e le monografie

le edizioni stampate delle riviste conservate nell'archivio storico sono: Calcolo (dal vol. I n. 1, gennaio 1964 al vol. VII n. 4, dicembre 1970); Rivista di Informatica² (dal vol. I n. 1, luglio 1970 al vol. XXXI n. 3, dicembre 2001) e Mondo Digitale (dal n. 1, marzo 2002 al n. 3, settembre 2011) a partire dal n. 4, dicembre 2011, Mondo Digitale è pubblicata solo in formato elettronico ed è disponibile sul portale dell'associazione.

Le pubblicazioni

Oltre alle riviste che rappresentano l'organo ufficiale dell'associazione, tutte le manifestazioni che AICA ha organizzato – come i congressi, i convegni nazionali, le conferenze internazionali, le giornate di studio organizzate dai gruppi di lavoro o dalle sezioni territoriali – hanno dato luogo alla pubblicazione degli atti. Si tratta di una biblioteca che spazia su una vasta gamma di temi attinenti all'informatica, sia sul piano teorico che su quello applicativo.

La prima pubblicazione recuperata, presente nell'archivio storico, risale al 1961: *Dibattito sulla formazione dei programmatori*³ tenutosi a Bologna nel mese di maggio in occasione della Prima Assemblea Generale dei Soci; seguono gli atti di due convegni del 1962: *Linguaggi simbolici di programmazione* (Pisa, 20-21 gennaio 1962) e *Programmi di utilità* (Bologna, 26 maggio 1962).

Le due manifestazioni con ricorrenza annuale sono il *Congresso Nazionale e Didamatica* (DIDAttica mediante l'inforMATICa).

Il *Congresso Nazionale* dal 1963 (anno della prima edizione) costituisce l'occasione più importante per fare il punto sullo stato dell'arte e sulle prospettive del settore. È nato come momento di incontro in cui i soci si riunivano per confrontarsi su argomenti specifici ed è ancora oggi l'evento che include l'Assemblea generale dei soci in cui vengono approvati sia il bilancio economico e sociale dell'associazione che la relazione del presidente sulle attività svolte.

A partire dal 1985 il congresso è caratterizzato da un tema dominante, annunciato nel titolo, con l'intervento di relatori esperti del tema prescelto provenienti dal mondo accademico, istituzionale e industriale.

Didamatica nasce nel 1985 come “Censimento nazionale sul software didattico” per opera di Giorgio Sacerdoti; il censimento proseguì fino al 1992 quando si ritenne superata la fase pionieristica mentre il convegno – che per anni è stato l'attività principale del gruppo di lavoro AICA “Informatica e didattica” – alla fine degli anni Novanta, su iniziativa di Alfio Andronico, è diventato il secondo più importante evento nazionale dell'associazione. Questa manifestazione è organizzata in collaborazione con il Ministero dell'istruzione e del merito (MIM) e inserita nel Protocollo d'Intesa MIM-AICA per la promozione della cultura dell'innovazione digitale e la diffusione delle competenze digitali.

2. Nel 1975 Rivista di Informatica ha pubblicato solo l'elenco dei soci. Pur mantenendo la continuità della numerazione dei volumi, ragioni di carattere editoriale hanno reso necessario passare direttamente dall'ultimo fascicolo del 1974 al primo numero del 1976.

3. Il resoconto del dibattito è pubblicato nella circolare ai Soci n. 5 del 10 ottobre 1961.



Verbale della prima riunione del Consiglio Direttivo dell'A.I.C.A. - Bologna, 25 febbraio 1961

Il Consiglio Direttivo dell'A.I.C.A. (Associazione Italiana per il Calcolo Automatico) si è riunito per la prima volta alle ore 15,30 del giorno 25 febbraio 1961 a Bologna presso l'Istituto di Statistica delle Facoltà di Economia e Commercio in Piazza Scaranilli n.2. Risultano presenti: Alfonso Caracciolo, Luigi Dadda, Paolo Ercoli, Paolo Fortunati, Aldo Ghisetti, Carlo Panatieri, Elserino Viol, Francesco Vira, Giovanni Semeraro, Albino Uppi - Assenti giustificati: Antonio Borsellino, Riccardo Berla, Mauro Ricca - Elezioni cariche sociali: Si procede all'elezione delle cariche sociali - Vengono eletti all'unanimità: Aldo Ghisetti: Presidente; Albino Uppi: Vice Presidente; Paolo Ercoli: Segretario e Tesoriere - Comunicazioni: Il Presidente comunica che è in corso di stampa presso la tipografia Pio 3 di Roma lo Statuto dell'A.I.C.A., con un preventivo di spesa di L. 58.000 per 1000 copie. Tale preventivo viene approvato dal Consiglio - Il Presidente ricorda che occorre dare un compenso straordinario al personale di segreteria ed agli uscieri per il servizio prestato il 10-12-1960 durante l'assemblea preliminare tenuta presso la sede del C.N.R. per la preparazione di una bozza di Statuto da presentare al Comitato di parte dei soci fondatori. Propone pertanto che ai Signori: Agostino Ramiro, Santo Bastianoni, Carlo Rago, Cecilia Brasiani siano date L. 2.500 ciascuno, ed ai Signori: Amaduzzi Pio,

Fig. 2 Prima pagina del verbale della prima riunione del Consiglio Direttivo dell'AICA. Bologna, 25 febbraio 1961.

Nella raccolta delle pubblicazioni vanno ricordati anche: sette volumi della *Collana AICA di Informatica*, due *Libri Bianchi*, otto volumi sul *Costo dell'Ignoranza Informatica* (pubblicati in collaborazione con la Scuola di Direzione Aziendale-SDA dell'Università Bocconi di Milano) e il catalogo *Per Fili e per Segni* del 2004, che raccoglie testi e immagini dalle origini del calcolo e delle prime forme di comunicazione all'era di internet. Il catalogo è stato pubblicato a seguito della mostra nazionale dedicata all'ingegno italiano e alla società dell'informazione tenutasi a Genova dal 3 novembre al 30 dicembre 2004. La mostra-convegno è stata organizzata da AICA in collaborazione con FIDAInform nell'ambito dell'evento *Genova 2004 Capitale Europea della Cultura*, presso la Fiera del Mare.

La collana AICA di Informatica

La collana, composta da 7 volumi, è stata pubblicata tra il 1984 e il 1988 e costituisce l'evoluzione dei numeri monografici di Rivista di Informatica. La pubblicazione dei volumi è stata prodotta in occasione di giornate di studio, cicli di conferenze o presentazione di ricerche di particolare rilevanza per la comunità degli operatori di informatica degli anni Ottanta. Per ogni volume è stato designato un curatore di riconosciuto valore scientifico e competenza professionale.

I volumi pubblicati sono:

- *Organizzazione e Informatica: 9 metodi per il disegno e la costruzione dei sistemi informativi* (giugno 1984) a cura di Ettore Abbondanza (AICA). Il volume nasce come supplemento al n. 2/1984 della Rivista di Informatica e raccoglie lo stato dell'arte delle metodologie messe a punto da alcune aziende socie collettive⁴ di AICA ed è il risultato delle loro ricerche e sperimentazioni nei più diversi settori di utenza, con particolare attenzione ai problemi affrontati in sede applicativa.
- *Basi di dati: stato dell'arte e prospettive* (settembre 1985) a cura di Paolo Tiberio (CIO-CNR di Bologna). Le otto monografie che compongono questo volume illustrano gli argomenti che negli anni Ottanta sono stati maggiormente dibattuti nella letteratura scientifica. Le prime quattro monografie trattano argomenti di carattere generale mentre le altre illustrano temi di interesse più particolare.
- *Text processing: elaborazione automatica di documenti* (ottobre 1985) a cura di Dario Lucarella (Università degli Studi di Milano) e Giulio Occhini (AICA). Nel volume sono pubblicati nove articoli che presentano lo stato dell'arte in termini di strumenti, ricerche, metodologie e applicazioni nell'area del *text processing* in quegli anni.

4. Enidata, Praxis Calcolo, CYTC, O.Dati-Sympact, Honeywell, Alpi, Metra, Syntax, Elea.

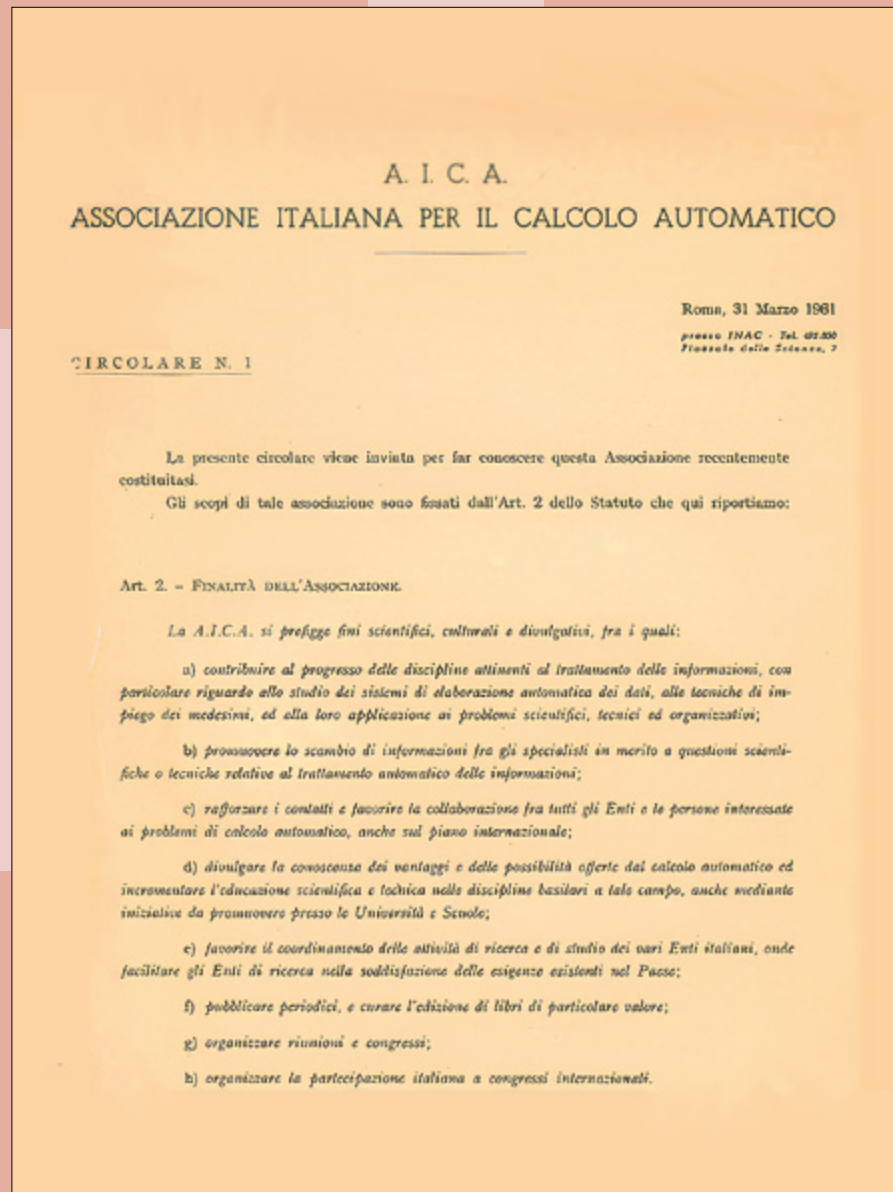


Fig. 3 Prima circolare inviata ai Soci AICA dove vengono evidenziati gli scopi dell'Associazione, come riportati nell'articolo 2 dello Statuto "Finalità dell'Associazione". Roma, 31 marzo 1961.

- *Office Automation: metodi e tecnologie* (novembre 1985) a cura di Gianni Degli Antoni (Università degli Studi di Milano) e Giulio Occhini (AICA).
È la prima raccolta di lavori (in totale nove) che sono stati selezionati tra i contributi presentati al convegno organizzato dalla sezione AICA-Lombardia in collaborazione con l'Istituto di Cibernetica dell'Università di Milano. Questi lavori mettono a confronto atteggiamenti differenti e alcune fra le molteplici interpretazioni cui può dar luogo la realtà dell'ufficio e del lavoro.
- *Document Management: elaborazione automatica dei documenti* (novembre 1986) a cura di Dario Lucarella (Università degli Studi di Milano) e Giulio Occhini (AICA).
Questo volume raccoglie alcuni tra i più significativi contributi presentati al convegno sul Text Processing organizzato da AICA e dal Dipartimento di Scienze dell'Informazione dell'Università di Milano svoltosi a Milano il 19 e 20 novembre 1985. Sono pubblicati 13 lavori divisi in quattro distinte sessioni: Composizione dei documenti, Document retrieval, Office automation e Tecniche di manipolazione dei testi.
- *Standardization in Computer Graphics* (aprile 1987) a cura di Bianca Falcidieno, Caterina Pienovi, Cristina Gambaro (CNR di Genova) e Umberto Cugini (Politecnico di Milano).
In questo volume sono pubblicati gli atti del workshop *Standardization in Computer Graphics* tenutosi a Genova nel dicembre 1986. Nei 14 articoli pubblicati vengono trattati due aspetti della standardizzazione dei sistemi grafici: il software grafico e il trasferimento delle informazioni tecniche.
- *Elaborazione automatica dei dati geografici: strumenti per la realizzazione dei sistemi informativi territoriali* (settembre 1988) a cura di Flavio Bonfatti (CIO-CNR di Bologna).
Il volume raccoglie cinque monografie redatte da alcuni fra i maggiori esperti italiani del settore in quegli anni con l'obiettivo di fornire un quadro d'insieme aggiornato degli aspetti tecnici ed organizzativi legati al progetto e alla realizzazione di un sistema informativo territoriale.

I Libri Bianchi

- *Libro Bianco sulla intelligenza artificiale in Italia: situazione e prospettive* (1987 Editore Masson) a cura di Giovanni Guida (Università di Udine) e Sandro Incerti (Tecsiel di Roma).
Questo libro è stato pubblicato con il supporto culturale e di risorse dell'Istituto per la Ricostruzione Industriale (IRI) e ha avuto il patrocinio del Ministero per il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica, il Ministero dell'Industria commercio e artigianato e il Ministero delle partecipazioni statali. La prefazione del libro è stata scritta da Romano Prodi allora presidente dell'IRI. I contributi raccolti in questo volume affrontano temi di carattere culturale, scientifico e industriale.

- *Memorie ottiche per una nuova editoria: libro bianco su tecnologie, mercato e prospettive di CD-ROM e videodischi in Italia* (1988 Editore Masson) a cura di Marco Gatti (giornalista), Giulio Occhini (AICA) e Mario Salvatori (giornalista).

Il libro, diviso in cinque capitoli, è il primo censimento nazionale sulle memorie ottiche. Gli interventi dei maggiori esperti italiani del settore forniscono una panoramica completa nel campo delle memorie ottiche a supporto di una nuova editoria.

Il costo dell'ignoranza informatica

Un progetto editoriale concepito da AICA e dalla Scuola di Direzione Aziendale (SDA) dell'Università Bocconi di Milano ha dato vita a una raccolta di volumi dedicati al costo dell'ignoranza informatica. Il progetto studia l'impatto prodotto dal livello delle conoscenze informatiche sull'efficienza e sulla produttività del sistema economico italiano e su quale sia lo scotto che il nostro Paese è costretto a pagare per l'insufficiente alfabetizzazione informatica dei suoi cittadini.

I volumi pubblicati sono:

- *Il costo dell'ignoranza nella società dell'informazione* (2003 AICA) a cura di Pier Franco Camussone (SDA Bocconi) e Giulio Occhini (AICA). Ristampato da Etas Libri nel 2011.
- *L'ignoranza informatica: il costo nella sanità* (2004 McGraw-Hill) a cura di Elio Borgonovi (SDA Bocconi), Pier Franco Camussone (SDA Bocconi) e Giulio Occhini (AICA).
- *Competenze digitali e produttività nel settore bancario italiano* (2006 McGraw-Hill) a cura di Pier Franco Camussone (SDA Bocconi), Giulio Occhini (AICA) e Domenico Santececca (Associazione Bancaria Italiana).
- *Le conoscenze informatiche in Italia: siamo pronti per la società dell'informazione?* (2006 Egea) a cura di Pier Franco Camussone (SDA Bocconi), Giulio Occhini e Fulvia Sala (AICA).
- *L'ignoranza informatica. Il costo nella pubblica amministrazione centrale* (2008 Egea) a cura di Paola Bielli (SDA Bocconi), Pier Franco Camussone (SDA Bocconi) e Fulvia Sala (AICA).
- *L'ignoranza informatica. Il costo nella pubblica amministrazione locale* (2011 Egea) a cura di Paola Bielli (SDA Bocconi), Pier Franco Camussone (SDA Bocconi) e Fulvia Sala (AICA).

- *L'ignoranza informatica. Il costo per il sistema industriale* (2014 AICA) a cura di Paola Bielli (SDA Bocconi), Pier Franco Camussone (SDA Bocconi), Fulvia Sala (AICA) e Marco Sampietro (SDA Bocconi).

- *Lavoreremo ancora? Tecnologie informatiche e occupazione* (2017 Egea) a cura di Pier Franco Camussone (SDA Bocconi) e Alfredo Biffi (SDA Bocconi).

Gli eventi

Gli eventi organizzati dall'AICA, a partire dal 1961, sono quasi tutti accompagnati dalla pubblicazione degli atti. La lunga lista che viene pubblicata in questo volume è stata prodotta recuperando e archiviando sia i programmi degli eventi che gli atti se disponibili. Sono stati elencati, inoltre, eventi organizzati in altri ambiti quali: serate del Club per le innovazioni nell'ICT (cene conviviali), incontri del Cantiere dei mestieri ICT, incontri della Community per i protagonisti della trasformazione digitale (D-Avengers), premiazione di concorsi o tesi di laurea che non hanno prodotto la stampa degli atti o la pubblicazione online, per questo motivo il segno grafico (*) indica che gli atti non sono disponibili in archivio per la consultazione:

1961

- *Convegno nazionale: Dibattito sulla formazione dei programmatori* - Bologna, 27 maggio 1961

1962

- *Convegno nazionale: Linguaggi simbolici di programmazione* - Pisa, 20-21 gennaio 1962
- *Convegno nazionale su: Programma di utilità* - Bologna, 26 maggio 1962

1963

- *Congresso annuale AICA (primo congresso): Organizzazione dei centri di calcolo automatico* - Bologna, 19-22 maggio 1963

1964

- *L'evoluzione dei calcolatori digitali elettronici* (incontro serale, relatore Pier Antonio Abetti-Univac) - Milano, 11 marzo 1964 (*)
- *Uso dei calcolatori elettronici per il progetto di sistemi e accessori ad altissima tensione* (incontro serale, relatore Elio Occhini-Pirelli) - Milano, 25 marzo 1964 (*)
- *Il mercato degli elaboratori elettronici in Italia* (incontro serale con Diebold Italia) - Milano, 8 aprile 1964 (*)
- *Convegno nazionale: L'impegno di elaboratori in tempo reale nell'automazione del trattamento delle informazioni e del calcolo scientifico* - Milano, 23 maggio 1964 (*)
- *Conferenze sul Pert e le sue applicazioni* (relatore Walter De Ambrogio-Olivetti) - Palermo, 1-3 dicembre 1964 (*)
- *Corso di programmazione in FORTRAN per la macchina Elea 6001* - Palermo, 15-19 dicembre 1964 (*)

1965

- *La Solid Logic Technology e il sistema 360* (giornata di studio prima parte) - Palermo, 4 febbraio 1965 (*)
- *Risoluzione automatica di problemi relativi a progetto di costruzioni* - Palermo, 12 febbraio 1965 (*)
- *La Solid Logic Technology ed il sistema 360* (giornata di studio seconda parte) - Palermo, 18 febbraio 1965 (*)
- *La moderna concezione degli elaboratori elettronici: Univac 418* (relatore Ugo Sgrosso-Sperry) - Palermo, 25 febbraio 1965 (*)
- *Descrizione di sistemi a partizione di tempo per la soluzione dei problemi scientifici* - Palermo, 18 marzo 1965 (*)
- *Applicazioni e installazioni di elaboratori in tempo reale* - Palermo, 25 marzo 1965 (*)
- *Orientamenti sui linguaggi di programmazione* - Palermo, 14 maggio 1965 (*)
- *Il Fortran 2D e l'utilizzazione dei dischi nei calcolatori* - Palermo, 28 maggio 1965 (*)
- *Convegno nazionale: Calcolo analogico; realtà e prospettive* - Padova, 18 settembre 1965 (*)
- *Convegno nazionale: Analisi numerica e linguaggi programmativi* - Genova, 8-10 novembre 1965 (*)

1966

- *Convegno nazionale: Metodi di simulazione* - Venezia, 27-28 maggio 1966 (*)
- *Linguaggi per manipolazione di simboli* - Pisa, 5-9 settembre 1966 (*)
- *Riduzione concettuale dei documenti* - Torino, 14 dicembre 1966 (*)

1967

- *Le tecniche digitali nei controlli automatici* - Roma, 26-28 ottobre 1967 (*)
- *Convegno nazionale: La trasmissione dei dati ai fini di elaborazione automatica* - Roma, 29-31 ottobre 1967

1968

- *Congresso annuale AICA* (secondo congresso) *La formazione del personale di fronte allo sviluppo dei calcolatori* - Napoli, 26-29 settembre 1968
- *La preparazione del personale per l'elaborazione elettronica dei dati in Italia* (convegno nazionale, presentazione del volume 1) - Napoli, 26-29 settembre 1968
- *Il problema dell'affidabilità: aspetti teorici ed esperienze* - Torino, 17 dicembre 1968 (*)

1969

- *I fondamenti della programmazione lineare e le sue applicazioni nell'industria petrolifera* (incontro con Esso Standard) - Torino, 13 febbraio 1969 (*)
- *Problemi relativi all'avviamento di un elaboratore della 3a generazione* (relatore Tarcisio Zucca-FIAT) - Torino, 19 maggio 1969 (*)
- *La preparazione del personale per l'elaborazione elettronica dei dati in Italia* (convegno nazionale, presentazione del volume 3 e documento conclusivo) - Roma, 2-3 ottobre 1969

1970

- *Progettazione automatica nell'elettronica* - Milano, 29-30 aprile 1970 (*)
- *Scuola sui Compilatori e tecniche di implementazione* - Milano, 11-15 maggio 1970
- *Information Retrieval* - Roma, 24 luglio 1970 (*)
- *Convegno nazionale: I sistemi informativi aziendali* - Palermo, 1-2 ottobre 1970
- *La preparazione del personale per l'elaborazione elettronica dei dati in Italia* (convegno nazionale, aggiornamento 1970) - Roma, 1-2 ottobre 1970
- *L'Informatica, la cultura e la società italiana* - Torino, 9-11 dicembre 1970

1971

- *Convegno nazionale: Interazione uomo-macchina* - Sorrento, 31 maggio-2 giugno 1971
- *Pianificazione e controllo dell'avanzamento di un progetto software* (relatore Mario Italiani-Syntax) - Milano, 22 giugno 1971 (*)
- *Problemi connessi con l'introduzione dei sistemi in tempo reale* (relatore Augusto Carpani-Credito Italiano) - Milano, 6 luglio 1971 (*)
- *Proposte per la formazione del personale nel settore della elaborazione automatica delle informazioni* - Milano, 21 settembre 1971 (*)
- *La preparazione del personale per l'elaborazione elettronica dei dati in Italia* (convegno nazionale, rapporto 1971) - Roma, 1-2 ottobre 1971
- *Multiprogrammazione o più elaboratori?* (relatore Gianoberto Santi - Montedison) - Milano, 12 ottobre 1971 (*)
- *Giornate AICA di Genova: La formazione del personale per l'elaborazione automatica dei dati nell'impresa, nella facoltà di ingegneria e Manifestazione nazionale per i 10 anni dell'Associazione* - Genova, 22-23 ottobre 1971
- *Basis: sistema modulare integrale per la programmazione ed il controllo della produzione* (incontro con Siemens Data) - Milano, 26 ottobre 1971 (*)
- *Problemi di impostazione e di realizzazione di sistemi informativi aziendali* (relatore Nazzareno Condulmari-Italsiel) - Milano, 9 novembre 1971 (*)

1972

- *Problemi connessi con la progettazione di sistemi informativi* (incontro con Italsiel) - Milano, 11 gennaio 1972 (*)
- *Una esperienza di insegnamento di statistica* (incontro con Praxis-Calcolo) - Milano, 25 gennaio 1972 (*)
- *Significato e limiti di sistemi specializzati in Information Retrieval* (incontro con Syntax) - Milano, 8 febbraio 1972 (*)
- *Un sistema interattivo per la matematica numerica: l'analisi conversazionale di dati sperimentali* (incontro con Enel) - Milano, 22 febbraio 1972 (*)
- *Sistemi operativi della terza generazione: problemi di valutazione* (incontro con Syntax) - Milano, 7 marzo 1972 (*)
- *Ricerca operativa e informatica* (incontro con Praxis-Calcolo) - Milano, 21 marzo 1972 (*)
- *International Computing Symposium* - Venezia, 12-14 aprile 1972
- *La problematica strutturale nei progetti di sistemi informativi. Generalità ed esempi* (incontro con Farmitalia) - Milano, 18 aprile 1972 (*)

- *Gli insegnamenti di informatica nelle Università e nei Politecnici Italiani* - Torino, 5 maggio 1972 (*)
- *Le tentazioni della macchina* (relatore Silvio Ceccato) - Milano, 9 maggio 1972 (*)
- *La gestione dei progetti* (relatore Lucio Vollaro-IBM) - Milano, 23 maggio 1972 (*)
- *Struttura delle informazioni per l'impiego delle moderne tecniche di decisione* (relatore Fausto Ricci-Honeywell) - Milano, 6 giugno 1972 (*)
- *Informatica e Diritto* - Pavia, 15-17 settembre 1972 (*)
- *Convegno nazionale: La preparazione del personale per l'elaborazione elettronica dei dati in Italia* (rapporto 1972) - Roma, 1-2 novembre 1972
- *Convegno nazionale: Tecniche di simulazione ed algoritmi* - Milano, 9-10 novembre 1972
- *Incontro con gli insegnanti di informatica* - Milano, 27 novembre 1972 (*)
- *Elaborazione automatica di dati in applicazione a problemi di controllo numerico di macchine utensili* (relatore Silvano Ambrosio-Fiat) - Torino, 13 dicembre 1972 (*)
- *Criteri di valutazione delle prestazioni di un sistema* (incontro con Univac) - Milano, 14 dicembre 1972 (*)

1973

- *Multics: un nuovo progetto di sistema operativo per estendere il concetto di "Computer utility"* (incontro con Honeywell ISI) - Torino, 16 gennaio 1973 (*)
- *Sviluppo software e problemi della documentazione automatica* (relatori Hermann Fangmeyer e Sergei Perschke-Cetis) - Torino, 27 febbraio 1973 (*)
- *Informatica teorica* - Pisa, 1-3 marzo 1973
- *Problemi umani e organizzativi nell'elaborazione automatica dei dati* - Milano, 13 marzo 1973 (*)
- *Automazione del servizio di documentazione negli Istituti di Credito* (incontro con Italsiel) - Milano, 27 marzo 1973 (*)
- *Risoluzione numerica di equazioni differenziali* (relatore Ubaldo Richard - Università di Padova) - Torino, 30 marzo 1973 (*)
- *Moderni orientamenti ed applicazioni dei mini-calcolatori* (incontro con Montedel) - Milano, 10 aprile 1973 (*)
- *Sistemi automatici per lo smistamento dei messaggi* (incontro con Syntax) - Milano, 17 aprile 1973 (*)
- *Calcolatori analogici e ibridi* (relatore Agostino Mathis-Cnen) - Torino, 19 aprile 1973 (*)
- *1st European workshop: Computer networks* - Arles, 24 aprile 1973
- *Sistemi informativi aziendali: classificazione e scomposizione dei componenti* (relatore Sergio Paletti-Montedison) - Milano, 8 maggio 1973 (*)
- *Esperienze e tecniche di simulazione* (tavola rotonda AICA-AIRO-ANIPLA) - Torino, 17 maggio 1973 (*)
- *Un polialgoritmo conversazionale per la risoluzione interattiva di sistemi di equazioni differenziali ordinarie* (relatore Leonardo Dalle Rive - Enel) - Milano, 5 giugno 1973 (*)
- *Automazione presso il Comune di Torino* (incontro con Comune di Torino) - Torino, 19 giugno 1973 (*)
- *La gestione delle banche dati e la documentazione automatica* (relatore Mario Persico-Siemens Data) - Milano, 26 giugno 1973 (*)
- *Convegno nazionale: Miti e prospettive concrete dell'informatica* - Roma, 15-16 novembre 1973
- *Data Management Systems* (incontro con Univac) - Milano, 27 novembre 1973 (*)
- *Memorie virtuali e sistemi operativi* (incontro con IBM) - Milano, 11 dicembre 1973 (*)

1974

- *Informatica e Scuola Secondaria Superiore* (prima tavola rotonda tra insegnanti, studenti e case costruttrici di elaboratori) - Milano, 30 aprile 1974 (*)
- *Informatica e Scuola Secondaria Superiore* (seconda tavola rotonda tra insegnanti, studenti e rappresentanti di Università e Aziende) - Milano, 7 maggio 1974 (*)
- *Studi ed esperienze di Information Retrieval, banche dati e basi di dati* - Milano, 21 maggio 1974
- *Congresso annuale: Formazione in informatica in Italia* - Milano, 7-8 novembre 1974 (*)
- *Il programma di analisi strutturale Nastran e la sua utilizzazione nell'industria* (incontro con Sperry-Univac) - Torino, 12 novembre 1974 (*)
- *Evoluzione della funzione organizzativa in una azienda operante con un sistema informativo integrato* - Roma, 25 novembre 1974 (*)
- *Sviluppo di un compilatore PL/1 per un minicomputer* (relatore Luigi Petrone-Olivetti) - Torino, 17 dicembre 1974 (*)
- *Una particolare applicazione pratica dell'informatica alla amministrazione del territorio* - Roma, 17 dicembre 1974 (*)

1975

- *Applicazione dei minielaboratori per problemi di trattamento dei segnali vocali* (relatore Luciano Nebbia e Carlo Scagliola-CSELT) - Torino, 28 gennaio 1975 (*)
- *Polialgoritmi per l'elaborazione dei dati sperimentali* (relatore Ilio Galligani-IAC-CNR) - Torino, 6 marzo 1975 (*)
- *Architettura dei sistemi per la gestione delle banche dati (funzioni e architettura di basi, sistemi esistenti e tendenze)* - Roma, 25 marzo 1975 (*)
- *Microprogrammazione* - Milano, 7-8 aprile 1975
- *Optical Computing ed olografia* (incontro con CSELT) - Torino, 29 aprile 1975 (*)
- *Uso dell'informatica nell'amministrazione del territorio* - Roma, 29 aprile 1975 (*)
- *Studi ed esperienze di applicazioni biomediche dei calcolatori elettronici* - Parma, 15 maggio 1975 (*)
- *Fotocomposizione: l'EDP al servizio dell'editoria e della grafica* (incontro con Ilte) - Torino, 5 giugno 1975 (*)
- *Applicazione di una banca dati per la progettazione, costruzione ed esercizio di centrali elettriche* - Roma, 24 giugno 1975 (*)
- *6th Annual conference of ISAGA, International Simulation and Gaming Association* - Milano, 25-27 giugno 1975 (*)
- *Computer Aided Design* - Milano, 22-24 luglio 1975
- *Congresso annuale AICA* - Genova, 29-31 ottobre 1975
- *Corso di aggiornamento: Progetto di sistemi di elaborazione in tempo reale (AICA-CNR-FAST)* - Milano, 10-14 novembre 1975 (*)
- *I sistemi informativi e le basi di dati di fronte all'informatica distribuita* - Milano, 26 novembre 1975 (*)
- *Incontro con gli Insegnanti di informatica della Lombardia* - Milano, 27 novembre 1975 (*)
- *Linguaggi per le applicazioni non numeriche dei calcolatori "Lisp-Planner-Prolog"* (AICA-ACM-CNR-FAST) - Milano, 1-5 dicembre 1975 (*)
- *Sistemi informativi aziendali* (AICA-CNR-FAST) - Milano, 1-5 dicembre 1975 (*)

1976

- *Ingegneria dei sistemi informativi* - Milano, 20 gennaio 1976 (*)
- *L'impiego di sistemi di elaborazioni dati nel processo di pianificazione aziendale (AICA-AIPA)* - Milano, 29 gennaio 1976 (*)
- *Interfaccia d'utente verso il software delle case costruttrici (AICA-AIRO)* - Roma, 19 febbraio 1976 (*)
- *Problematiche relative ai data base, un'esperienza industriale, esperienze in corso presso l'Università di Torino sui modelli relazionali dei data base* - Torino, 24 febbraio 1976 (*)
- *Automazione della gestione del servizio accettazione dell'aeroporto di Fiumicino (AICA-AIRO)* - Roma, 25 febbraio 1976 (*)
- *Organizzazione del lavoro di sviluppo software* - Milano, 24 marzo 1976 (*)
- *L'organizzazione aziendale di fronte all'impiego di sistemi per la gestione delle basi integrate di dati, esperienze presso l'industria chimica* - Milano, 31 marzo 1976 (*)
- *Metodologie di strutturazione dei dati* - Pisa, 26 maggio 1976 (*)
- *L'automazione nella acquisizione ed elaborazione delle misure biomediche* - Milano, 10 giugno 1976 (*)
- *Metodologie di analisi e progetto dei sistemi informativi* - Roma, 1-2 luglio 1976 (*)
- *Sistemi di gestione di basi di dati: aspetti teorici, linguaggi, applicazione e interfacce con i sistemi operativi* - Pisa, 20 ottobre 1976 (*)
- *L'informatica nelle piccole e medie aziende* (incontro con IBM) - Milano, 21 ottobre 1976 (*)
- *Congresso annuale AICA* - Milano, 27-29 ottobre 1976
- *Esperienze regionali d'informatica sanitaria* - Milano, 12 novembre 1976 (*)
- *Sistemi generalizzati per la gestione di basi di dati* - Milano, 13 dicembre 1976 (*)

1977

- *Linguaggi di programmazione e progetto di sistemi software* - Bologna, 12 gennaio 1977 (*)
- *Informatica nelle piccole e medie aziende: Honeywell-ISI* - Milano, 25 gennaio 1977
- *Valutazione tecnica ed economica dei sistemi informatici* - Milano, 1-2 marzo 1977
- *Informatica e protezione delle informazioni individuali* - Roma, 24 marzo 1977 (*)
- *L'Informatica nelle piccole e medie aziende: Siemens Data* - Milano, 5 maggio 1977
- *Progetto e gestione di basi di dati* - Milano, 9-13 maggio 1977 (*)
- *Giornata AICA-EAST dedicata all'informatica* - Milano, 23 maggio 1977 (*)
- *Il calcolatore nella progettazione industriale* - Milano, 23-27 maggio 1977 (*)
- *Inserimenti occupazionali dei diplomati in informatica* - Milano, 24 maggio 1977 (*)
- *Il linguaggio "Modula" per la programmazione di sistemi in tempo reale* - Bologna, 27 maggio 1977 (*)
- *Possibilità applicative dell'APL* - Milano, 31 maggio 1977 (*)
- *Tecniche quantitative ed elaborazione dei dati per la programmazione dei sistemi sociali* - Milano, 21 giugno 1977 (*)
- *Informatica nelle piccole e medie aziende: Sperry Univac* - Milano, 22 giugno 1977
- *Future directions of operating systems research* - Pisa, 28 luglio 1977 (*)
- *Quale informatica per il mezzogiorno?* - Cosenza, 23 settembre 1977 (*)
- *Esperienze di progettazione automatica* - Bologna, 3 ottobre 1977 (*)
- *Gli elaboratori di dati e la simulazione discreta* - Milano, 4 ottobre 1977 (*)

- *Congresso Annuale AICA* - Pisa, 12-14 ottobre 1977
- *Esperienze di documentazione automatica e di data base* - Milano, 2 dicembre 1977 (*)

1978

- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Banca Nazionale del Lavoro) - Roma, 15 gennaio 1978 (*)
- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Banco di Napoli) - Roma, 18 gennaio 1978 (*)
- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Banco di Santo Spirito) - Roma, 25 gennaio 1978 (*)
- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Banca d'Italia) - Roma, 15 febbraio 1978 (*)
- *Sistemi generalizzati per la gestione delle basi di dati* - Milano, 21 marzo 1978 (*)
- *Ingegneria del software, valutazione ed esperienze* - Milano, 12 aprile 1978
- *Office Information System* - Roma, 21 aprile 1978
- *Informatica distribuita: applicazioni, tendenze, limiti* - Milano, 4 maggio 1978
- *Valutazione di configurazioni alternative in un caso concreto di informatica distribuita* - Milano, 4 maggio 1978
- *Informatica nel mezzogiorno* - Napoli, 13 maggio 1978 (*)
- *Basi di dati* - Milano, 5 giugno 1978 (*)
- *Multimicro processors: Architecture and Reliability* (relatore Daniel Siewiorek- Carnegie Mellon University) - Bologna, 15-16 giugno 1978 (*)
- *2° Conference of the European Cooperation in Informatics* (convegno congiunto AICA-ECI) - Venezia, 10-12 ottobre 1978
- *Informatica per le decisioni: difficoltà (psicologiche, organizzative, di linguaggio) prospettive, limiti* - Milano, 17 ottobre 1978
- *Verso una definizione di Intelligenza Artificiale, tecniche LA e campi di applicazione* - Roma, 20 ottobre 1978 (*)
- *Valutazione delle prestazioni di un Sistema EDP: confronto fra metodologie progredite ed esperienze pratiche* - Roma, 26 ottobre 1978
- *Informatica nella agricoltura* - Foggia, 1 dicembre 1978 (*)

1979

- *Sistemi informativi orientati al tempo reale negli Istituti di credito medio-piccoli* - Roma, 1979
- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Cassa di Risparmio di Roma) - Roma, 1 febbraio 1979 (*)
- *Linguaggi di programmazione e progetto di sistemi di software* - Bologna, 22 febbraio 1979 (*)
- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Banca Nazionale dell'Agricoltura) - Roma, 1 marzo 1979 (*)
- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Banco di Roma) - Roma, 15 marzo 1979 (*)
- *L'informatica distribuita nelle banche, realtà e prospettive* (incontro con Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni) - Roma, 29 marzo 1979 (*)
- *Giornata Pattern Recognition* - Genova, 5 aprile 1979 (*)

- 1° Congresso IDI (Informazione, Documentazione, Industrie) - Mondovì, 2-4 maggio 1979 (*)
- Pianificazione, organizzazione e sistemi informativi - Milano, 11 maggio 1979 (*)
- Comprensione del linguaggio naturale - Milano, 18 maggio 1979
- Metodi e sistemi di raccolta ed analisi di dati biomedici - Pisa, 25 maggio 1979 (*)
- Sistemi per la gestione delle basi di dati - Napoli, 14 giugno 1979 (*)
- Sistemi per la gestione delle basi di dati - Bari, 21 giugno 1979 (*)
- L'informatica nei corsi 150 ore: un aspetto del rapporto tra specialisti e metodo di lavoro - Milano, 28 settembre 1979 (*)
- Congresso Annuale AICA - Bari, 10-13 ottobre 1979
- Gestione automatizzata dei materiali - Torino, 31 ottobre 1979 (*)
- Sviluppo organizzativo e pianificazione dei sistemi informativi (tecniche, ruoli ed esperienze) - Milano, 18 dicembre 1979 (*)

1980

- Sistemi informativi orientati al tempo reale negli Istituti di Credito medio-piccoli: incontro con Systems & Management - Roma, 28 marzo 1980
- Intelligenza artificiale e fondamenti dell'informatica - Torino, 21 maggio 1980
- Il controllo di gestione come strumento per la direzione bancaria. Alcune esperienze di automazione - Roma, 22-23 maggio 1980
- Informatica e organizzazione - Milano, 25 maggio 1980 (*)
- Le associazioni utenti: natura, obiettivi e prospettive - Milano, 5 giugno 1980 (*)
- Sistemi Informativi orientati al tempo reale negli Istituti di Credito medio-piccoli: incontro con Sperry Univac - Roma, 13 giugno 1980 (*)
- Sistemi Informativi orientati al tempo reale negli Istituti di Credito medio-piccoli: incontro con Italsiel Imprese - Milano, 27 giugno 1980 (*)
- Applicazione degli elaboratori nella didattica (2° incontro nazionale) - Sorrento, 10-12 settembre 1980
- La telematica: servizi, prodotti, reti pubbliche - Milano, 18 settembre 1980
- Congresso Annuale AICA - Bologna, 29-31 ottobre 1980
- Le operazioni interbancarie in Italia: situazione attuale e prospettive - Bologna, 31 ottobre 1980
- Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici (1ª giornata) - Milano, 19 novembre 1980
- Sistemi Informativi orientati al tempo reale negli Istituti di Credito medio-piccoli: incontro con Syntax - Roma, 12 dicembre 1980

1981

- Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici (2° giornata) - Milano (*)
- Sistemi informativi orientati al tempo reale negli Istituti di credito medio-piccoli: incontro con IBM Italia SpA - Roma, 23 gennaio 1981 (*)
- Il ruolo delle metodologie di analisi nella costruzione dei sistemi informativi: incontro con le associazioni di settore - Milano, 22 aprile 1981 (*)
- Esperienze di realizzazione di base di dati distribuite negli Istituti di Credito - Roma, 7 maggio 1981
- Architettura O.S.I (Open System Interconnection) proposta dell'I.S.O. per la connessione di sistemi informativi in una rete - Milano, 15 maggio 1981
- AED'81, III incontro nazionale sulle applicazioni degli elaboratori nella didattica - Pavia, 26 giugno 1981 (*)

- Il trattamento dei documenti e dell'informazione nell'ufficio moderno: stato attuale e tendenze - Milano, 18-21 settembre 1981
- Congresso Annuale AICA - Pavia, 23-25 settembre 1981
- Metodi di gestione delle risorse EDP - Milano, 24 novembre 1981 (*)
- Metodologie di analisi, costruzione, progettazione e controllo dei sistemi informativi: incontro con Elea - Milano, 10 dicembre 1981 (*)

1982

- Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici (3a giornata) - Milano, 29 gennaio 1982
- Metodologie di analisi, progettazione, costruzione e controllo dei sistemi informativi: incontro con Praxis Calcolo - Milano, 4 febbraio 1982 (*)
- Dimensioni economiche ed organizzative dell'automazione d'ufficio - Milano, 2 marzo 1982 (*)
- Metodologie di analisi, progettazione, costruzione e controllo dei sistemi informativi: incontro con Enidata - Milano, 11 marzo 1982 (*)
- Aspetti tecnico-informativi dell'automazione d'ufficio - Bari, 23 marzo 1982 (*)
- Automazione e razionalizzazione ed automazione dell'ufficio - Milano, 25-27 marzo 1982 (*)
- Metodologie di analisi, costruzione, progettazione e controllo dei sistemi informativi: incontro con O-Dati Simpac - Milano, 14 aprile 1982 (*)
- La microinformatica e le sue applicazioni - Milano, 7 maggio 1982
- Metodologie di analisi, progettazione, costruzione e controllo dei sistemi informativi: incontro con Honeywell I.S.I - Milano, 18 giugno 1982 (*)
- Intelligenza artificiale: applicazioni industriali - Como, 2 luglio 1982 (*)
- Applicazioni degli elaboratori nella didattica - Lecce, 30 agosto-18 settembre 1982 (*)
- Organizzazione ed automazione: come si sta preparando la banca alla rapida evoluzione dell'automazione - Milano, 9-10 settembre 1982
- Congresso Annuale AICA - Padova, 6-8 ottobre 1982
- Contenuti formativi dell'informatica di base - Padova, 9 ottobre 1982
- Modelli d'ufficio - Milano, 18-19 novembre 1982 (*)
- Sistemi di interazione avanzata - Torino, 19 novembre 1982 (*)
- Applicazioni degli elaboratori nella didattica: metodologie, prodotti, esperienze - Milano, 15 dicembre 1982 (*)

1983

- Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici (4a giornata) - Milano, 14 gennaio 1983
- Metodologie di analisi, progettazione e costruzione e controllo dei sistemi informativi: incontro con Metra Italia - Milano, 19 gennaio 1983 (*)
- Expert System - Udine, 18 febbraio 1983 (*)
- Metodologie di analisi, progettazione e costruzione e controllo dei sistemi informativi: incontro con CTC - Milano, 14 aprile 1983 (*)
- Il Personal - Esperienze, impatti organizzativi e prospettive dell'informatica individuale - Milano, 15 aprile 1983 (*)
- Informatica grafica e formazione nell'istruzione pre-universitaria: stato attuale e prospettive - Milano, 22 aprile 1983 (*)
- Sistemi di visione per la robotica - Milano, 20 maggio 1983 (*)

- *Il controllo, la valutazione e la protezione dei sistemi informativi* - Milano, 24 maggio 1983
- *Il ruolo dell'elaboratore nella didattica della fisica* - Pavia, 26 maggio 1983
- *Donne e computer: dove, come, perché* - Milano, 30 maggio 1983 (*)
- *Il contratto informatico* - Milano, 1 giugno 1983
- *Il calcolatore negli allevamenti zootecnici* - Cremona, 22 settembre 1983 (*)
- *Congresso Annuale AICA* - Napoli, 28-30 settembre 1983
- *Basi di dati distribuite e automazione dell'ufficio* - Firenze, 3 novembre 1983 (*)
- *Elaborazione testi e documenti* - Milano, 14-15 novembre 1983
- *Aspetti dell'evoluzione della struttura informativa dei sistemi aziendali: nuovi principi, tecnologie, management* - Roma, 23-24 novembre 1983 (*)
- *Applicazioni dell'informatica nella termotecnica* - Milano, 24 novembre 1983 (*)
- *Computerplay'83 (mostra-convegno su giochi e didattica con il computer)* - Milano, 2-3 dicembre 1983 (*)
- *AED nell'insegnamento della matematica* - Genova, 3 dicembre 1983 (*)
- *Il personal-esperienze, impatti organizzativi e prospettive dell'informatica individuale* - Roma, 12 dicembre 1983
- *Giornata di studio su I.S.D.N.* - Roma, 21 dicembre 1983 (*)

1984

- *Metodologie di analisi, progettazione, costruzione e controllo dei sistemi informativi: Sperry* - Milano, 26 gennaio 1984 (*)
- *Il Calcolatore e la didattica chimica* - Napoli, 3 febbraio 1984
- *Controlli numerici e sistemi flessibili di produzione* - Milano, 9 febbraio 1984
- *Metodologie di analisi, progettazione e costruzione e controllo dei sistemi informativi: System & Management* - Milano, 16 febbraio 1984 (*)
- *Meccanismi per il trattamento dei malfunzionamenti nei linguaggi per il progetto di sistemi* - Pisa, 21 febbraio 1984 (*)
- *Le applicazioni dell'informatica nella medicina* - Taranto, 3-4 marzo 1984 (*)
- *Tecnologia dell'informazione e documentazione automatica* - Padova, 2 aprile 1984 (*)
- *EPABX e LAN-Il centralino elettronico dell'automazione di ufficio* - Milano, 5 aprile 1984
- *La progettazione di basi di dati assistita dal calcolatore* - Roma, 12-13 aprile 1984 (*)
- *Educazione informatica di massa* - Milano, 2-3 maggio 1984 (*)
- *Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici (5a giornata)* - Milano, 4 maggio 1984
- *Informatica e scuola di base* - Milano, 10-18 maggio 1984 (*)
- *Automazione d'ufficio e sistemi informativi* - Milano, 17 maggio 1984
- *Esempi di possibili applicazioni degli elaboratori alla didattica* - Milano, 18 maggio 1984 (*)
- *La rivoluzione organizzativa del codice a barre: tecnologie e innovazioni* - Milano, 29 maggio 1984 (*)
- *Il software come prodotto: problemi, metodologie, strumenti, esperienze* - Napoli, 18 giugno 1984
- *L'azienda e l'informatica individuale* - Milano, 21 giugno 1984
- *Problematiche del personale "EAD" negli Istituti di credito* - Roma, 21 giugno 1984
- *A program learning per la grafica computerizzata* - Milano, 26 giugno 1984 (*)
- *Il calcolatore in urbanistica e architettura* - Roma, 22-23 ottobre 1984
- *Introduzione al computer graphics* - Roma, 22-23 ottobre 1984
- *Mostra "Retrospectiva sull'informatica in Italia"* - Roma, 23-26 ottobre 1984

- *Congresso Annuale AICA "Innovazione tecnologica e innovazione nella Società"* e Mostra "Informatica in Italia, una retrospettiva dalle origini al 1970" - Roma, 24-26 ottobre 1984
- *Retrospectiva sull'Informatica in Italia, dalle origini al 1970* - Roma, 23-26 ottobre 1984
- *CADME: un sistema integrato CAD/CAM per la piccola e media industria* - Milano, 22 novembre 1984
- *Intelligenza artificiale: strumenti ed applicazioni in ambiente prolog* - Padova, 29-30 novembre 1984 (*)
- *Progetto Finalizzato Informatica Obiettivo "Compunet"* - Milano, 3-4 dicembre 1984
- *Applicazioni non tradizionali dell'Information Retrieval* - Milano, 5 dicembre 1984
- *Computerplay "84 "Imparare giocando" (mostra-convegno su giochi e didattica con il computer)* - Milano, 6-7 dicembre 1984

1985

- *Didattica (1° censimento sul software didattico)* - Milano, 22-24 febbraio 1985
- *Corso di aggiornamento di informatica per i piccoli e medi Comuni* - Milano, 15-16 marzo 1985
- *Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici (6ª giornata)* - Milano, 19 aprile 1985
- *Seminario di Informatica per medici* - Taranto, 19-27 aprile 1985 (*)
- *Linguaggi e architetture per la programmazione logica e funzionale* - Bologna, 29 aprile 1985 (*)
- *Applicazione dell'Informatica nella medicina* - Taranto, 3-5 maggio 1985 (*)
- *La sicurezza negli Istituti di Credito* - Milano, 8 maggio 1985
- *L'Informatica come mezzo di evoluzione dell'editoria* - Milano, 9 maggio 1985 (*)
- *Metodologie di sviluppo dei sistemi informativi: incontro con Arthur Andersen* - Milano, 16 maggio 1985 (*)
- *Formazione scolastica pre-universitaria e formazione aziendale in informatica: quale collaborazione?* - Milano, 23 maggio 1985
- *Il decentramento del sistema informativo nelle banche: problemi e prospettive* - Roma, 24 maggio 1985
- *Linguaggi della 4ª generazione* - Milano, 5 giugno 1985 (*)
- *Il punto sull'intelligenza artificiale in Italia* - Milano, 7 giugno 1985 (*)
- *Il personal computing per chi pianifica e decide: realtà e prospettive* - Milano, 10-12 giugno 1985
- *Metodologie di sviluppo dei sistemi informativi: incontro con Italsiel* - Milano, 20 giugno 1985 (*)
- *Computerplay'85 "Il computer game è una cosa seria" (mostra-convegno su giochi e didattica con il computer)* - Milano, 5-9 settembre 1985 (*)
- *La riusabilità del software* - Napoli, 17 settembre 1985 (*)
- *I linguaggi della 4ª generazione* - Roma, 1 ottobre 1985
- *Congresso Annuale AICA* - Firenze, 9-11 ottobre 1985
- *Text Processing II* - Milano, 19-20 novembre 1985
- *Metodologie di sviluppo dei sistemi informativi: incontro con la GESI* - Milano, 21 novembre 1985 (*)
- *Sistemi non tradizionali di Information Retrieval per applicazioni di tipo decentrato* - Padova, 27 novembre 1985 (*)
- *Metodologie di sviluppo dei sistemi informativi: incontro con James Martin* - Milano, 12 dicembre 1985 (*)

1986

- *Applicazioni dell'elaboratore nella didattica delle discipline umanistiche* - Pisa, 22 gennaio 1986
- *Decision support systems* - Roma, 4 febbraio 1986

- *Formazione in informatica per il management* - Milano, 28 febbraio 1986
- *Informatica e territorio* - Roma, 8 aprile 1986
- *Strumenti informatici e nuovi servizi in banca* - Perugia, 17-18 aprile 1986
- *ADA: ricerca e sviluppo* - Pisa, 29 aprile 1986 (*)
- *Didamatica* (2° censimento sul software didattico) - Milano, 8-10 maggio 1986
- *Workshop su CD-ROM* - Milano, 20 maggio 1986
- *Capacity Planning* (prima giornata) - Milano, 13 giugno 1986 (*)
- *Valutazione delle prestazioni dei sistemi Informatici* (7ª giornata) - Milano, 13 giugno 1986
- *Computerplay'86 "Imparare giocando"* (mostra-convegno su giochi e didattica con il computer) - Milano, 4-8 settembre 1986
- *Time-Varying image processing and moving object recognition* - Firenze, 8-9 settembre 1986 (*)
- *Informatica e didattica* - Palermo, 23 settembre 1986
- *Congresso Annuale AICA* - Palermo, 24-26 settembre 1986
- *La riusabilità del Software* - Napoli, 27 settembre 1986 (*)
- *Ricerca applicata in informatica nell'area di Roma* - Roma, 21 ottobre 1986
- *Management e automazione d'ufficio* - Milano, 20-21 novembre 1986
- *Sistemi esperti e applicazioni di impresa* - Milano, 2-3 dicembre 1986
- *La protezione logica delle risorse EDP: metodi e strumenti* - Milano, 11 dicembre 1986 (*)

1987

- *L'Intelligenza artificiale in Italia: realtà scientifica e realtà industriale* - Roma, 30 gennaio 1987
- *Didamatica* (3° censimento sul software didattico) - Milano, 14-16 febbraio 1987
- *Un ruolo vitale per la banca del domani. Il sistema dei pagamenti in Italia* - Lerici, 6-7 aprile 1987
- *Basi di conoscenza e basi di dati* - Milano, 22 maggio 1987 (*)
- *Le reti* - Firenze, 29 maggio 1987 (*)
- *Assicurazione della qualità del software* - Roma, 1 giugno 1987
- *International Conference on research and development in Information Retrieval* - New Orleans, 3-5 giugno 1987 (*)
- *Immagini e territorio* - Milano, 5 giugno 1987
- *Computer Graphics (corsi di aggiornamento AICA-ACM-Cam-i-Eurographics)* - Milano, 8-26 giugno 1987 (*)
- *Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici* (8ª giornata) - Roma, 9 giugno 1987
- *Standard a livello di stazioni di lavoro. Personal computer e terminali* - Milano, 11 giugno 1987
- *Intelligenza artificiale e ingegneria del software: situazioni e prospettive* - Milano, 17 giugno 1987
- *DBMS e linguaggi di elaborazione, situazione e tendenze* - Firenze, 26 giugno 1987 (*)
- *ESEC'87. 1st European Software Engineering Conference* - Strasburgo, 7-11 settembre 1987 (*)
- *Computerplay'87 "Il calcolatore amichevole"* (mostra-convegno su giochi e didattica con il computer) - Milano, 16-21 settembre 1987 (*)
- *Congresso Annuale AICA e Rassegna dell'editoria informatica* - Trento, 30 settembre-2 ottobre 1987
- *Ambiente e informatica* - Roma, 9 novembre 1987
- *Check Point 87 - Rassegna di informatica applicata* (convegno nazionale) - Roma, 25-26 novembre 1987
- *Text Processing III* - Milano, 2-3 dicembre 1987

1988

- *Problemi di standardizzazione nella ISDN* - Milano, 10 febbraio 1988
- *Didamatica* (4° censimento sul software didattico) - Milano, 20-23 aprile 1988
- *Sicurezza nelle reti di dati* - Milano, 3 maggio 1988
- *Rassegna storica: Calcolando... dall'abaco al computer* - Perugia, 28 maggio-3 giugno 1988 (*)
- *Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici* (9ª giornata) - Milano, 31 maggio 1988
- *Grafica con il computer: un nuovo modo di fare design styling e immagine* - Milano, 2-3 giugno 1988
- *Tutorial on Intelligent Information Retrieval* - Padova, 10 giugno 1988
- *Organizzazione, utenti ed informatica: soluzioni per una crescita equilibrata* - Roma, 20 giugno 1988
- *Applicazioni industriali dei sistemi esperti* - Milano, 23 giugno 1988
- *Linguaggi di 4ª generazione* - Milano, 28-29 giugno 1988
- *Congresso Annuale AICA* - Cagliari, 28-30 settembre 1988
- *La Telefonia nella storia e nel costume* (guida didattica a cura di AICA per la mostra storica "Telecomunicazioni: la Voce" organizzata da SMAU e SIP) - Milano, 29 settembre - 3 ottobre 1988
- *Editoria elettronica dal piombo al laser* - Milano, 1 ottobre 1988
- *Computerplay "88 "Il computer come strumento amichevole"* (mostra-concorso del programma creativo) - Milano, 29 settembre - 3 ottobre 1988 (*)
- *Evoluzioni dei sistemi per basi di dati e di conoscenza* - Milano, 28 ottobre 1988
- *CAA88 Informatica ed automazione di fabbrica* - Torino, 2-5 novembre 1988
- *Dalla programmazione tradizionale a quella parallela* - Milano, 17-18 novembre 1988
- *Elaborazione parallela tecnologie, architettura, applicazioni* - Milano, 17-18 novembre 1988
- *Check Point'88-Rassegna di Informatica applicata* (convegno nazionale) - Roma, 29-30 novembre 1988
- *Modelli analitici* - Milano, 29 novembre 1988

1989

- *Il computer quale ausilio alle persone disabili* - Milano, 17 aprile 1989 (*)
- *Sinergie per la protezione del software* - Milano, 17 aprile 1989
- *Didamatica* (5° censimento sul software didattico) - Bari, 4-6 maggio 1989
- *Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici* (10ª giornata) - Milano, 7 giugno 1989
- *Strategie organizzative e formative per una più efficace utilizzazione dei sistemi informativi* - Roma, 28 giugno 1989
- *Summer School in Information Retrieval* - Padova, 10-13 luglio 1989
- *Congresso Annuale AICA e Rassegna della editoria informatica* - Trieste, 4-6 ottobre 1989
- *Editoria elettronica: la videoinformazione alla prova del mercato* - Milano, 7 ottobre 1989
- *Programmazione parallela: modelli sincroni, asincroni e connessionisti* - Casalecchio di Reno, 23-25 ottobre 1989
- *Valutazione e selezione di tecnologie CASE* - Roma, 6 novembre 1989
- *Sistemi per la gestione di interfaccia utente: metodologie e strumenti* - Milano, 10 novembre 1989
- *Strategie informatiche e organizzative nelle banche per gli anni "90* - Milano, 23-24 novembre 1989
- *Gli strumenti CASE: le esigenze, l'offerta e le linee di tendenza* - Milano, 30 novembre 1989
- *Text Processing IV* - Milano, 12-13 dicembre 1989

1990

- *DMW Group: Integrazione case "Best in class"* - Milano, 24 gennaio 1990
- *I virus del calcolatore. La storia, la tecnica, le difese* - Milano, 7-8 febbraio 1990
- *Giornata Etnoteam: la fabbrica del software real time* - Milano, 21 febbraio 1990
- *EWDC-2: second european workshop on dependable computing "Tools and design for dependability evaluation"* - Firenze, 26-28 febbraio 1990
- *Giornata Datamat: le metodologie CASE e l'assicurazione qualità* - Milano, 14 marzo 1990
- *Valutazione delle prestazioni dei sistemi informatici: modelli e sistemi paralleli (11ª giornata)* - Milano, 27 marzo 1990
- *Giornata Andersen Consulting: un modello per il centro di sviluppo software* - Milano, 5 aprile 1990
- *Voto elettronico: tecnologia, politica, società* - Roma, 20 aprile 1990
- *Didattica (6° censimento sul software didattico)* - Catania, 2-4 maggio 1990
- *Giornata Olivetti Systems & Networks e Syntax Sistemi Software: una offerta CASE di nuova generazione* - Milano, 17 maggio 1990
- *Giornata Sysdata: IL CASE e oltre: una soluzione globale* - Milano, 5 giugno 1990
- *Unattended operations: strumenti ed esperienze per un centro non presidiato* - Milano, 19 giugno 1990
- *European Summer School in Information Retrieval (ESSIR)* - Bressanone, 9-12 luglio 1990
- *Congresso Annuale AICA* - Bari, 19-21 settembre 1990
- *Computerplay "Il computer come strumento amichevole" (mostra-convegno su giochi e didattica con il computer)* - Milano, 4-8 ottobre 1990 (*)
- *9th International Conference on entity-relationship approach* - Losanna, 8-10 ottobre 1990 (*)
- *Process modeling in software engineering* - Milano, 16 ottobre 1990
- *Workstation e architetture distribuite. Il sistema informativo degli anni Novanta* - Roma, 21 novembre 1990
- *Evoluzione degli strumenti per la specifica dei requisiti nel progetto di sistemi informativi* - Milano, 23 novembre 1990 (*)

1991

- *L'insegnamento dell'informatica negli anni "90. Nuovi scenari per la scuola* - Milano, 22 febbraio 1991
- *Il sistema informativo di marketing bancario: esperienze e prospettive* - Milano, 13-14 marzo 1991
- *Information Retrieval: l'offerta di mercato in Italia* - Milano, 9-10 aprile 1991
- *Il futuro degli Strumenti CASE: giornata conclusiva* - Milano, 16 aprile 1991
- *Didattica (7° censimento sul software didattico)* - Cesena, 2-4 maggio 1991
- *La sicurezza del prodotto informatico* - Casalecchio di Reno, 9 maggio 1991
- *Linguaggi visuali e interazione* - Milano, 9 maggio 1991
- *Ingegneria della conoscenza* - Milano, 15-17 maggio 1991
- *Sistemi di basi di dati: la prossima generazione* - Milano, 21 maggio 1991
- *Innovazione nell'ufficio pubblico: l'impatto dell'informatica sull'organizzazione del lavoro* - Milano, 29 maggio 1991
- *Tecnologia, organizzazione e persone per fare informatica* - Milano, 7 giugno 1991 (*)
- *Qualità sicurezza e controllo dei sistemi software* - Milano, 18 giugno 1991

- *Valutazione delle prestazioni nei sistemi informatici (12ª giornata)* - Milano, 21 giugno 1991 (*)
- *Convegno internazionale sulla storia e preistoria del calcolo automatico e dell'informatica* - Siena, 10-12 settembre 1991
- *Mostra storica L'albero del computer, dalle antiche radici alle giovani foglie* - Siena, 10-28 settembre 1991 (*)
- *Le banche verso un sistema cooperante* - Siena, 24 settembre 1991
- *Congresso Annuale AICA e convegno/mostra su Storia del Calcolo Automatico* - Siena, 25-27 settembre 1991
- *10th Symposium on Reliable Distributed System* - Pisa, 30 settembre-2 ottobre 1991
- *L'Italia informatica negli anni "90: bilanci, riflessione e prospettive* - Milano, 7 ottobre 1991
- *Procedure attuali per la protezione del software in Italia* - Milano, 8 ottobre 1991
- *ESEC "91 (3rd European Software Engineering Conference)* - Milano, 21-24 ottobre 1991
- *Network management i problemi e le tecnologie* - Milano, 12 novembre 1991

1992

- *Elaborazione parallela: ricerca ed applicazioni* - Roma, 12-13 febbraio 1992
- *Text Processing V* - Milano, 18 marzo 1992
- *Formal methods for software development* - Milano, 23 marzo 1992
- *Responsabilità da prodotto software e gestione del relativo rischio* - Milano, 31 marzo 1992
- *Didattica (8° censimento software didattico)* - Campobasso, 22-24 aprile 1992
- *Basi di dati una gestione orientata agli oggetti* - Milano, 15 maggio 1992
- *Una nuova generazione di sistemi informativi: I Cruscotti (logiche di base, strumenti, esperienze)* - Milano, 19 giugno 1992 (*)
- *Informatica medica: a che punto siamo?* - Milano, 17 giugno 1992
- *Qualità della vita in ambienti con crescenti livelli di automazione* - Milano, 30 settembre 1992 (*)
- *Congresso Annuale AICA* - Torino, 21-23 ottobre 1992
- *ECHT '92 - Iper testi + Multimedialità = Ipermedia* - Milano, 13 novembre 1992

1993

- *Cittadino e Pubblica Amministrazione. L'informatica per un rapporto più trasparente* - Milano, 9 marzo 1993 (*)
- *Sistemi aperti: l'interoperabilità e la portabilità* - Milano, 18 marzo 1993
- *Didattica* - Genova, 14-16 aprile 1993
- *Introduzione alle reti neurali e artificiali* - Rosignano Solvay (LI), 19 aprile 1993
- *Le professionalità informatiche in Europa* (presentazione del progetto E.I.S.S.-European Informatic Skills Structure del CEPIS-Council of European Professional Informatics Societies) - Roma, 2 giugno 1993 (*)
- *Interfacce grafiche a data base: offerta del mercato e prospettive di sviluppo* - Milano, 9 giugno 1993
- *Congresso Annuale AICA and international section "Parallel and distributed architectures and algorithms"* - Gallipoli, 22-24 settembre 1993
- *Protezione legale del software alla luce della direttiva CEE 91/250 e del D.L. 518/92* - Roma, 20 ottobre 1993
- *Nuove tecnologie elettroniche per il marketing e le vendite nei periodi di crisi economica* - Milano, 27 ottobre 1993

- *Tecnologie informatiche e agricoltura: alcuni esempi di applicazioni* - Grosseto, 26 novembre 1993 (*)
- *Dal filo al tessuto - Dal tessuto al capo finito* - Milano, 15-16 dicembre 1993

1994

- *Norme e linee guida per la qualità dei prodotti software e per il relativo processo di sviluppo* - Milano, 14 aprile 1994
- *Didamatica* - Cesena, 5-7 maggio 1994
- *ICSE 16 - 16° International conference on software engineering* - Sorrento, 16-21 maggio 1994
- *Parallel database machine: attuali applicazioni e prospettive di sviluppo* - Milano, 3 giugno 1994
- *Reverse engineering: diritti legali ed applicabilità tecnica* - Milano, 13 giugno 1994
- *Congresso Annuale AICA* - Palermo, 21-23 settembre 1994
- *ISOOMS'94-Object-Oriented Methodologies and Systems (International Symposium)* - Palermo, 21-24 settembre 1994
- *Lo sportello civico, nuove modalità di erogazione dei servizi* - Milano, 22 novembre 1994

1995

- *Evoluzione degli ambienti di sviluppo in un contesto client-server* - Casalecchio di Reno, 12 gennaio 1995
- *Microelettronica: motore per l'innovazione* - Milano, 21-22 Febbraio 1995
- *Accesso all'informazione multimediale distribuita (Networked Multimedia Information Retrieval and Reuse)* - Frascati, 14 marzo 1995
- *Sviluppi dei sistemi Microsoft, Windows "95* (cena conviviale, relatore Umberto Paolucci - Microsoft) - Milano, 11 aprile 1995 (*)
- *Interactive distance learning nella formazione del personale in azienda* - Roma, 1 giugno 1995
- *Being Digital* (cena conviviale, relatore Nicholas Negroponte) - Milano, 2 giugno 1995 (*)
- *Ingegneria dei requisiti di sistemi informativi* - Ancona, 8 giugno 1995
- *I dati per i sistemi informativi geografici: tecnologia, diffusione, etica* - Roma, 28 giugno 1995 (*)
- *I servizi telematici per il cittadino* (cena conviviale, relatore Giuliano Massa-Stet) - Milano, 19 luglio 1995 (*)
- *Congresso Annuale AICA* - Chia (CA), 27-29 settembre 1995
- *Il processo di sviluppo del software e la sua corretta organizzazione* - Milano, 5 ottobre 1995
- *Metriche e misure nella ingegneria del software* - Benevento, 22 novembre 1995
- *La gestione del software nell'attività dell'impresa: criteri per valutare aspetti contabili e fiscali, responsabilità civili e penali, problematiche di esercizio e di bilancio* (Tavola rotonda) - Milano, 24 novembre 1995

1996

- *Da Internet a Intranet* (cena conviviale, relatore Marco Righetti-Oracle) - Milano, 20 febbraio 1996 (*)
- *Software evolution and reuse. Le iniziative europee e le possibili opportunità nella manutenzione e sviluppo del software* - Roma, 22 febbraio 1996
- *Internet e Internet like nelle città* (cena conviviale, relatori Fiorella De Cindio-Rete Civica Milano, Giovanni Ferrero-Comune di Torino e Stefano Bonaga-Comune di Bologna) - Milano, 21 marzo 1996 (*)

- *Utilizzo dell'orientamento agli oggetti in banca* - Milano, 26 marzo 1996
- *Le nuove piattaforme hardware e software per internet* (cena conviviale, relatori Zajcew Roman-Sun Microsystem e Mauro Meanti-Microsoft) - Milano, 23 aprile 1996 (*)
- *Didamatica* - Cesena, 9-10 maggio 1996
- *Internet per l'impresa- Lavorare sul Web* - Milano, 11 giugno 1996
- *ANSI Z39.50: applicazioni nelle biblioteche e per l'accesso alle collezioni di dati digitali* - Roma, 12 giugno 1996 (*)
- *Internet: mille negozi in rete* (cena conviviale, relatore Alessandro Naldi-Weekend Firenze e Oliver Novick-Cybermercato) - Milano, 20 giugno 1996 (*)
- *Auditing informatico: impatto organizzativo, strutturale e comportamentale nel mondo industriale e dei servizi, nonché nel mondo assicurativo-bancario* - Milano, 8 luglio 1996
- *Congresso Annuale AICA La Società dell'informazione* - Roma, 25-27 settembre 1996
- *ESORICS 96-4th European Symposium on Research in Computer Security* - Roma, 25-27 settembre 1996
- *EDCC-2 Dependable Computing Conference* - Taormina, 2-4 ottobre 1996 (*)
- *Outsourcing: il business del futuro* - Milano, 21 ottobre 1996 (*)
- *La sfida degli altri gestori di telecomunicazioni* (cena conviviale, relatori Paolo Donzella-Albacom e Riccardo Ruggiero-Infostrada) - Milano, 21 novembre 1996 (*)
- *Nuovi servizi e tecniche multimediali* - Roma, 27 novembre 1996 (*)

1997

- *Corporate banking* - Roma, 17 febbraio 1997
- *EWDC-8 Experimental validation of dependable systems* - Gottemberg, 2-4 aprile 1997 (*)
- *Didamatica* - Siena, 8-10 maggio 1997
- *Le carte intelligenti: nuove prospettive per i sistemi di pagamento* (cena conviviale, incontro con Veron Milano, SSB-Società per i Servizi Bancari e Banksiel) - Milano, 22 maggio 1997 (*)
- *Congresso Annuale Aica "Internet ed oltre"* - Milano, 24-26 settembre 1997
- *Telecomunicazioni 90 giorni all'anno zero* - Milano, 3 ottobre 1997 (*)
- *La banca virtuale a che punto siamo* (cena conviviale, relatori Enrico Grazzini-Databank Consulting, Roberto Dadda-Banco Ambrosiano Veneto e Fabio Dilonardo-Telecom Italia) - Milano, 20 novembre 1997 (*)

1998

- *Sicurezza e normativa dei pagamenti in rete* (cena conviviale) - Milano, 3 febbraio 1998 (*)
- *Sistemi informativi e tecnologie web* - Milano, 21 maggio 1998
- *CAISE 98-Advanced Information Systems Engineering* - Pisa, 8-12 giugno 1998 (*)
- *Società post-industriale: il problema dell'alfabetizzazione informatica di massa* - Milano, 22 ottobre 1998 (*)
- *Congresso Annuale AICA "In moto sulla rete. Informatica e telecomunicazioni per la società mobile"* - Napoli, 18-20 novembre 1998

1999

- *Electronic commerce business to business* - Roma, 22 giugno 1999
- *Congresso Annuale AICA "La società dell'informazione alle soglie del nuovo millennio"* - Padova, 27-29 settembre 1999
- *Dibattito sull'alfabetizzazione informatica come investimento. La patente europea del computer passaporto per la società dell'informazione* - Milano, 25 novembre 1999 (*)

2000

- *Didamatica* - Cesena, 4-6 maggio 2000
- *Congresso Annuale AICA "Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione come motore di sviluppo del Paese"* - Taormina, 27-30 settembre 2000
- *ECDL "Annullare le distanze"* - Gerace (RC), 30 settembre 2000 (*)
- *Domande su internet: come funziona davvero? Come ci cambierà la vita?* - Milano, 14 dicembre 2000 (*)

2001

- *Evoluzione scenari tecnologici* (cena conviviale, relatore Maurizio Decina-Cefriel) - Milano, 9 gennaio 2001 (*)
- *Intelligenza artificiale: da Asimov ai motori di ricerca* - Milano, 25 gennaio 2001 (*)
- *La gestione della conoscenza d'impresa: nuovi modelli e tecnologie* (cena conviviale, relatore Michele Missikoff-CNR-IASI) - Milano, 30 gennaio 2001 (*)
- *Internet e comunicazione: nasce un nuovo giornalismo?* - Milano, 22 febbraio 2001 (*)
- *Applicazione e strumenti di data warehousing e data mining* (cena conviviale, relatori Alessandro Zeigner e Renzo Traversini - SAS) - Milano, 27 febbraio 2001 (*)
- *Imparare giocando e navigando. Internet come nuovo ambiente sociale e educativo* - Milano, 22 marzo 2001 (*)
- *Il problema della sicurezza in internet* (cena conviviale, relatore Pierangela Samarati-Università Studi Milano) - Milano, 27 marzo 2001 (*)
- *Software libero* (cena conviviale, relatore Angelo Raffaele Meo-Politecnico di Torino) - Milano, 17 aprile 2001 (*)
- *Il museo digitale* - Milano, 19 aprile 2001 (*)
- *Didamatica* - Bari, 3-5 maggio 2001
- *Il fumetto ed internet: cosa cambia nel passaggio dalla carta al digitale* - Milano, 24 maggio 2001 (*)
- *Cos'è e come verrà sviluppato l'UMTS* (cena conviviale, relatore Roberto Carnevale Maffè) - Milano, 29 maggio 2001 (*)
- *Gli artefatti del 2000 tra bit e atomi* - Milano, 21 giugno 2001 (*)
- *La trasformazione dell'impresa dovuta all'introduzione della larga banda* (cena conviviale, relatore Franco Morganti-IIC Italian Chapter) - Milano, 26 giugno 2001 (*)
- *Dall'informatica per tutti alla ricerca dell'eccellenza* (conferenza stampa) - Roma, 5 luglio 2001 (*)
- *La Patente Europea del Computer per i ragazzi e per le scuole* - Biella, 14 settembre 2001 (*)
- *Congresso Annuale AICA "Tecnologie, Innovazione e Società"* - Cernobbio (CO), 19-22 settembre 2001
- *Il laboratorio di ricerche elettroniche Olivetti, Mario Tchou e l'Elea 9003* - Milano, 23 novembre 2001 (*)

2002

- *ASP e BSP: una rivoluzione culturale* (cena conviviale, relatore Giacomo Zanotti-Wind) - Milano, 12 febbraio 2002 (*)
- *Didamatica "www.e-learning"* - Napoli, 14-15 febbraio 2002
- *CRM un'approccio per sviluppare la Net Company* (cena conviviale, relatore Roberto Bellini-Aica) - Milano, 12 marzo 2002 (*)
- *Linux avanza* (cena conviviale, relatore Roberto Di Cosmo-Université Paris-Diderot) - Milano, 9 aprile 2002 (*)
- *Internet di seconda generazione* (cena conviviale, relatore Sanjeev Ahuja-Omar) - Milano, 14 maggio 2002 (*)
- *E-Learning lo sviluppo dei contenuti* (cena conviviale, relatore Piero Carrà-Talento) - Milano, 11 giugno 2002 (*)
- *I servizi per le comunità virtuali* (cena conviviale, relatore Gabriele Bresta-BiBop Research) - Milano, 10 settembre 2002 (*)
- *Congresso Annuale AICA "ICT globalizzazione e localism"* - Conversano (BA), 25-27 settembre 2002
- *Le nuove professionalità dell'ICT* (cena conviviale, relatore Giulio Occhini-Aica) - Milano, 8 ottobre 2002 (*)
- *La "sentinella" informatica ovvero come affrontare adeguatamente il tema della sicurezza* (cena conviviale, relatore Yann Bongiovanni-Live) - Milano, 12 novembre 2002 (*)
- *Dall'Elea al programma 101: una storia italiana* - Ivrea, 23 novembre 2002 (*)
- *I servizi sulla Larga Banda* (cena conviviale) - Milano, 10 dicembre 2002 (*)

2003

- *Didamatica* - Genova, 27-28 febbraio 2003
- *Dati spaziali e sistemi informativi territoriali* - Milano, 10 marzo 2003 (*)
- *Workshop su Spadagis su dati spaziali e sistemi informativi territoriali* - Milano, 10-11 marzo 2003 (*)
- *Integrazione della Warehousing e Mining di sorgenti eterogenee di dati* - Milano, 11 marzo 2003 (*)
- *Coscienza artificiale: missione impossibile?* (cena conviviale, relatore Giorgio Buttazzo-Università di Pavia) - Milano, 13 marzo 2003 (*)
- *Il costo dell'ignoranza nella società dell'informazione*. Presentazione del 1° rapporto sul tema - Roma, 13 marzo 2003 (*)
- *Mobile and electorin payments in "IST-Meteore2000"* - Roma, 24 marzo 2003 (*)
- *Digital divide. Azioni e percorsi per combatterlo* (cena conviviale, relatore Stefano Uberti Foppa-Zerouno) - Milano, 10 aprile 2003 (*)
- *Dove va il BPR? L'innovazione organizzativa basata sulle ICT* (cena conviviale, relatore Emilio Bartezzaghi-Politecnico di Milano) - Milano, 8 maggio 2003 (*)
- *Paradigma ERP e trasformazione dell'impresa* (cena conviviale, relatore Gianmario Motta-Politecnico di Milano) - Milano, 5 giugno 2003 (*)
- *Primo Forum Italiano: Incident response nella sicurezza informatica* - Milano, 10 giugno 2003
- *Open Source Software-Un nuovo modello di business?* - Milano, 27 giugno 2003
- *Web Learning: esperienze, modelli e tecnologie* (cena conviviale, relatore Alberto Colorni-Politecnico di Milano) - Milano, 3 luglio 2003 (*)

- *Congresso Annuale AICA “I costi dell’ignoranza e il valore della conoscenza in una società dell’informazione”* - Trento, 15-17 settembre 2003
- *Le applicazioni B2B e il ruolo degli e-marketplace* (cena conviviale, relatori Raffaello Balocco e Andrea Rangone-Politecnico di Milano) - Milano, 2 ottobre 2003 (*)
- *Il costo dell’incompetenza* (cena conviviale, relatore Pierfranco Camussone-SDA Bocconi) - Milano, 6 novembre 2003 (*)
- *La rivoluzione della rete: ATM ed IP sono davvero nemici?* (cena conviviale, relatore Paolo Ceccherini-Alcatel Italia) - Milano, 4 dicembre 2003 (*)

2004

- *Brevettabilità del software e imprese ICT* - Milano, 26 marzo 2004 (*)
- *Scienze e tecnologie dell’informazione: Sapere e saper fare dall’Università al Mondo del lavoro* - Roma, 31 marzo 2004 (*)
- *HW recuperato e SW Open Source per la scuola italiana* - Foggia, 3 aprile 2004 (*)
- *Didamatica* - Ferrara, 10-12 maggio 2004
- *Primo Forum AICA sulle Tecniche agili per il software process improvement* - Milano, 3-4 giugno 2004
- *Il costo dell’ignoranza informatica: il caso sanità* - Milano, 18 giugno 2004 (*)
- *La migrazione da ambienti proprietari ad ambienti Open Source: opportunità rischi ed economie* - Milano, 28 giugno 2004
- *Congresso Annuale AICA “Ricerca ed impresa, conoscenza e produzione per la società dell’informazione”* - Benevento, 28-30 settembre 2004
- *Per fili e per segni - Mostra su presente passato e futuro dell’informatica e telematica in Italia* - Genova, 3 novembre-31 dicembre 2004
- *Reti aperte e soluzioni integrate per le scuole* - Genova, 8 novembre 2004 (*)
- *La firma digitale fra normativa, soluzioni organizzative e impatti gestionali* - Milano, 16 novembre 2004
- *Presentazione del progetto AICA-AICQ-La patente europea della qualità* - Genova, 15 dicembre 2004 (*)

2005

- *e-Business model ontology for improving business/IT alignment* - Roma, 9 maggio 2005 (*)
- *Presentazione del progetto IT4PS* - Milano, 11 maggio 2005 (*)
- *Didamatica* - Potenza, 12-14 maggio 2005
- *La sicurezza nelle reti di telecomunicazioni. Nuove implicazioni e nuovi approcci per reti intrinsecamente sicure* - Roma, 19 maggio 2005 (*)
- *La gestione dinamica e la virtualizzazione delle risorse informatiche in rete* - Milano, 16 giugno 2005 (*)
- *The One Millionday* - Milano, 20 giugno 2005 (*)
- *Open culture: accessing and sharing knowledge (scholarly production and education in the digital age)* - Milano, 27-29 giugno 2005
- *Congresso Annuale AICA “Comunità virtuale dalla ricerca all’impresa della formazione del cittadino”* - Udine, 5-7 ottobre 2005
- *Secondo Forum AICA sulle Tecniche agili per il software process improvement* - Milano, 15 novembre 2005
- *Premio di laurea AICA-Federcomin* - Roma, 30 novembre 2005 (*)

2006

- *IPv6: La nuova frontiera di internet* - Roma, 26 gennaio 2006 (*)
- *Interoperabilità* - Milano, 30 gennaio 2006 (*)
- *Mostra Per Fili e per Segni* - Napoli, febbraio-giugno 2006
- *Competenze digitali e produttività nel settore bancario italiano* - Milano, 7 marzo 2006 (*)
- *ICT in Europa: mercato e competenze* - Roma, 5 maggio 2006 (*)
- *Didamatica* - Cagliari, 11-13 maggio 2006
- *Congresso Annuale AICA “Tecnologie digitali e competitività: quale ricerca, quali professioni?”* - Cesena, 21-22 settembre 2006
- *Premio di laurea Federcomin-AICA: “Occupazione e professioni nell’ICT”* - Roma, 18 ottobre 2006 (*)
- *Evento di lancio programma “Lazio e-citizen”* - Roma, 20 ottobre 2006 (*)

2007

- *Competenze e innovazione per il business (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 20 febbraio 2007 (*)
- *La carriera e il profilo del IS project manager e dell’IS manager (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 20 marzo 2007 (*)
- *La sfida delle competenze ICT per l’Europa 2010: punti di vista a confronto* - Roma, 23 marzo 2007 (*)
- *Didamatica* - Cesena, 10-12 maggio 2007
- *Casi di successo dell’ICT nelle imprese di produzione e di servizio (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 15 maggio 2007 (*)
- *Professioni e certificazioni informatiche* - Milano, 25 maggio 2007 (*)
- *2nd IT STAR Workshop on Universities and the ICT Industry (UNICTRY ‘07)* - Genzano di Roma, 26 maggio 2007 (*)
- *Il Progetto PKM 360° Knowledge Management a tutto campo* Tecnologie, cultura aziendale e internet generation per la gestione della conoscenza - Milano, 29 maggio 2007 (*)
- *Professioni e certificazioni informatiche* - Napoli, 30 maggio 2007 (*)
- *La formazione e l’aggiornamento delle competenze ICT (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 19 giugno 2007 (*)
- *La formazione informatica nel settore sanità* - Milano, 21 giugno 2007 (*)
- *Le competenze degli specialisti ICT: una nuova linea culturale e di servizi* - Genova, 12 luglio 2007 (*)
- *Professioni e certificazioni informatiche* - Agrigento, 13 settembre 2007 (*)
- *Le nuove opportunità professionali derivanti dall’ICT per l’amministrazione e i servizi pubblici (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 18 settembre 2007 (*)
- *Congresso Annuale AICA “Cittadinanza e democrazia digitale”* - Milano, 20-21 settembre 2007 e Mantova, 27-29 settembre 2007
- *Le principali carriere professionali nel settore ICT (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 16 ottobre 2007 (*)
- *La formazione informatica nel settore sanità* - Roma, 30 ottobre 2007 (*)
- *Le professionalità nel settore ICT e il contributo per il loro sviluppo da parte di Borsa Lavoro (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 30 ottobre 2007 (*)

- *I profili Eucip su borsa-lavoro (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 20 novembre 2007 (*)
- *PKM 360° Giorgio Sacerdoti Award 2007* - Milano, 20 novembre 2007 (*)

2008

- *Evoluzione dei modelli organizzativi e dei ruoli professionali e manageriali dell'ICT per rispondere al business aziendale (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 29 gennaio 2008 (*)
- *Iniziative e prospettive per l'open source nelle aziende e nella Pubblica Amministrazione (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 26 febbraio 2008 (*)
- *Le competenze e le professionalità ICT basate sullo standard EUCIP (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Genova, 11 marzo 2008 (*)
- *Le certificazioni informatiche europee nel EAPI, il Fondo di formazione continua per le piccole e medie imprese* - Milano, 18 aprile 2008 (*)
- *Didamatica* - Taranto, 28-30 aprile 2008
- *SOA service oriented architecture (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 6 maggio 2008 (*)
- *Competenze informatiche e certificazioni europee* - Roma, 12 maggio 2008 (*)
- *Competenze, professionalità e valore dell'IS manager* - Milano, 15 maggio 2008 (*)
- *Metodologie e professionalità per progettare i sistemi di business intelligence (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Genova, 20 maggio 2008 (*)
- *ELEA 9003: storia di una sfida industriale* - Udine, 22 maggio 2008 (*)
- *Le competenze della sicurezza informatica: dalla tecnologia alla legislazione (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 27 maggio 2008 (*)
- *PKM 360° gestire la conoscenza: la sfida del XXI secolo* - Milano, 29 maggio 2008 (*)
- *World Computer Congress (WCC 2008)* - Milano, 7-10 settembre 2008
- *Architecture SOA-service oriented architecture (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Genova, 30 settembre 2008 (*)
- *Il valore tangibile delle risorse ICT (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 28 ottobre 2008 (*)
- *Professioni ICT: una lezione per il futuro* - Roma, 14 novembre 2008 (*)
- *Annuncio nuova patente europea del computer* - Milano, 21 novembre 2008 (*)
- *Gli sbocchi sul mercato del lavoro (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Genova, 25 novembre 2008 (*)
- *Il valore generato dall'Interprise 2.0 (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 9 dicembre 2008 (*)

2009

- *L'ignoranza informatica: il costo nella Pubblica Amministrazione Centrale* - Roma, 15 gennaio 2009 (*)
- *Il costo dell'ignoranza informatica* - Treviso, 23 gennaio 2009 (*)
- *Come il sistema informatico influisce sulla valutazione delle aziende (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 27 gennaio 2009 (*)
- *Le professioni ICT* - Milano, 29 gennaio 2009 (*)
- *Il miglioramento dei profili di competenza degli specialisti ICT* - Milano, 11 febbraio 2009 (*)
- *Il valore aggiunto attraverso l'adozione di ITIL versione 3 (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 17 febbraio 2009 (*)
- *I nati digitali* - Milano, 20 marzo 2009 (*)
- *Annuncio nuova patente europea del computer* - Napoli, 24 marzo 2009 (*)

- *Annuncio nuova patente europea del computer* - Catania, 31 marzo 2009 (*)
- *Come utilizzare le innovazioni del web 2.0 per creare valore; alcuni casi di successo (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 31 marzo 2009 (*)
- *La sicurezza dei dati digitali in ambito PA-Competenze e profili professionali per gestire la sicurezza informatica* - Rimini, 1 aprile 2009 (*)
- *Didamatica "Informatica applicata alla didattica: ricerche, sviluppi ed esperienze"* - Trento, 22-24 aprile 2009
- *Tecnologie dell'informazione e della comunicazione nei servizi ad alto valore aggiunto per rilanciare l'economia* - Padova, 9 maggio 2009 (*)
- *Il costo dell'ignoranza informatica* - Genova, 18 maggio 2009 (*)
- *Annuncio nuova patente europea del computer* - Pisa, 25 maggio 2009 (*)
- *Come trasferire il rischio senza rischiare (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 26 maggio 2009 (*)
- *Il costo dell'ignoranza informatica* - Bologna, 27 maggio 2009 (*)
- *Riorganizzazione Istituti Tecnici e ICT* - Milano, 29 maggio 2009 (*)
- *Pisa, culla dell'informatica: mezzo secolo dopo la CEP e l'Olivetti di Barbaricina* - Pisa, 11 giugno 2009 (*)
- *Il valore delle competenze informatiche* - Potenza, 22 giugno 2009 (*)
- *Il valore delle competenze informatiche* - Bari, 24 giugno 2009 (*)
- *Innovazione ICT nei settori dell'interazione uomo-macchina e dei sistemi multimediali (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Genova, 25 giugno 2009 (*)
- *Il valore dell'ICT governance e le competenze necessarie (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 30 giugno 2009 (*)
- *Identity access management nel web 2.0 (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Genova, 15 settembre 2009 (*)
- *IT STAR: ICT skills, education and certifications* - Roma, 27 novembre 2009 (*)
- *Nuovi curricula e competenze digitali* - Roma, 13 ottobre 2009 (*)
- *Nuove opportunità di innovazione attraverso l'impiego della tecnologia RFID (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 27 ottobre 2009 (*)
- *Congresso Annuale AICA "Un nuovo Made in Italy per lo sviluppo del Paese-ICT per la valorizzazione dei beni e delle attività culturali"* - Roma, 4-6 novembre 2009
- *Il valore delle competenze informatiche* - Genova, 24 novembre 2009 (*)
- *Il supporto IT all'approccio GRC per la riduzione dei costi nelle organizzazioni pubbliche e private (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 1 dicembre 2009 (*)
- *PKM 360° Knowledge management e formazione* - Milano, 1 dicembre 2009 (*)
- *Nuovi curricula e competenze digitali* - Milano, 9 dicembre 2009 (*)
- *L'Osservatorio dei profili professionali nell'IT- Competenze, retribuzioni e tariffe* - Milano, 15 dicembre 2009 (*)

2010

- *La scelta open source per la produttività delle imprese* - Milano, 26 gennaio 2010 (*)
- *Cloud computing: un trend evolutivo sia tecnologico che di business* - Milano, 2 marzo 2010 (*)
- *Dopo l'e-learning apprendimento collaborativo nel web 2.0 (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Genova, 9 marzo 2010 (*)
- *Il valore delle competenze professionali per l'innovazione* - Roma, 25 marzo 2010 (*)

- *Le tecnologie per lo studio professionale virtuale e mobile (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 13 aprile 2010 (*)
- *Didattica "Tecnologie informatiche per la didattica"* - Roma, 21-23 aprile 2010
- *Le competenze digitali ed il valore delle certificazioni informatiche europee* - Palermo, 25 maggio 2010 (*)
- *Misure di tutela e aspetti legali nel contesto cloud computing (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 25 maggio 2010 (*)
- *La certificazione ECDL Health per gli operatori della Sanità e nelle Facoltà di Medicina* - Bologna, 27-28 maggio 2010 (*)
- *Tempeste finanziarie. Modelli matematici e tecnologie informatiche sotto accusa* - Torino, 17 giugno 2010 (*)
- *Dalle terziarizzazioni al XaaS: implicazioni sia per la domanda che per l'offerta (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 22 giugno 2010 (*)
- *Le competenze digitali ed il valore delle certificazioni informatiche europee* - Bari, 23 giugno 2010 (*)
- *La famiglia ECDL si allarga. Formazione e mestieri diventano grandi* - Milano, 21 settembre 2010 (*)
- *Congresso Annuale AICA "La ricostruzione de l'Aquila come laboratorio sperimentale per la comunità scientifica e industriale nazionale ICT"* - L'Aquila, 29 settembre-1 ottobre 2010
- *Discutiamo il manifesto del Cio AICA Forum* - Milano, 21 ottobre 2010 (*)
- *IT Systems Architect (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 9 novembre 2010 (*)
- *La Famiglia ECDL per la formazione e i mestieri* - Verona, 26 novembre 2010 (*)
- *Smart knowledge management una nuova frontiera* - Milano, 29 novembre 2010 (*)
- *Premio Perotto - Le migliori soluzioni ICT per l'innovazione digitale* - Genova, 2 dicembre 2010 (*)
- *Informatica e Problem Solving nella Scuola superiore* - Milano, 15 dicembre 2010 (*)
- *Certificazioni informatiche: formazione professionale e mercato del lavoro* - Catania, 17 dicembre 2010 (*)

2011

- *Come dovranno evolvere gli IT Administrator? (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 18 gennaio 2011 (*)
- *Il valore delle certificazioni informatiche: dalla scuola della riforma, all'università, al mondo del lavoro* - Pisa, 29 gennaio 2011 (*)
- *Service manager, il ruolo e il suo valore per il business* - Milano, 8 febbraio 2011 (*)
- *Le competenze ed il lavoro del database manager, il gestore del patrimonio presente nei sistemi ERP, BI e in altri database (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 1 marzo 2011 (*)
- *L'esperienza del cittadino-paziente tra high tech e high touch. Quale ruolo per il marketing esperienziale in sanità?* - Milano, 4 marzo 2011 (*)
- *Lo sviluppo delle competenze digitali e l'uso delle tecnologie nella didattica* - Verbania, 16 marzo 2011 (*)
- *Incontro CIO AICA Forum: Portali Aziendali e Business, come costruire soluzioni di successo* - Milano, 23 marzo 2011 (*)
- *Didattica "Insegnare Futuro"* - Torino, 4-5-6 maggio 2011
- *Security Adviser (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 10 maggio 2011 (*)
- *Il costo dell'ignoranza informatica nella Pubblica Amministrazione Locale e le sfide dell'Agenda Digitale* - Milano, 17 maggio 2011 (*)
- *Anatomia del Business Analyst-Workshop sulle competenze ed il lavoro del Business Analyst (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 14 giugno 2011 (*)

- *Incontro CIO AICA Forum: Accesso in mobilità alle applicazioni aziendali* - Milano, 6 novembre 2011 (*)
- *Congresso Annuale AICA "Smart Tech & Smart Innovation - La strada per costruire il futuro"* - Torino, 15-17 novembre 2011
- *Mario Tchou e l'Olivetti Elea 9000* - Milano, 23 novembre 2011 (*)
- *Incontro CIO AICA Forum: Uso flessibile delle risorse infrastrutturali* - Milano, 29 novembre 2011 (*)
- *I Social Network per innovare la relazione con il cliente (incontro cantiere dei mestieri ICT)* - Milano, 1 dicembre 2011 (*)

2012

- *Premio Computer Ethics per il finalista del concorso "I Giovani e le Scienze"* - Milano, 16 aprile 2012 (*)
- *Didattica* - Taranto, 14-16 maggio 2012
- *IOI-International Olympiad in Informatics* - Montichiari, 23-30 settembre 2012 (*)
- *Digitalizzazione, dematerializzazione e conservazione dei documenti informatici nella Pubblica Amministrazione Locale* - Udine, 22 novembre 2012 (*)
- *Etica e sicurezza digitale, rischi per nuove generazioni* - Roma, 26 novembre 2012 (*)
- *Promuovere la competenza digitale* - Milano, 26 novembre 2012 (*)
- *Digitalizzazione, dematerializzazione e conservazione dei documenti informatici nella Pubblica Amministrazione Locale* - Udine, 4 dicembre 2012 (*)
- *Il valore delle competenze informatiche e delle certificazioni nella scuola e nel mondo del lavoro* - Napoli, 5 dicembre 2012 (*)

2013

- *Didattica "Tecnologie e metodi per la didattica del futuro"* - Pisa, 7-9 maggio 2013
- *Congresso Annuale AICA "Frontiere Digitali: dal Digital Divide alla Smart Society"* - Fisciano, 18-20 settembre 2013
- *Responsabilità Sociale di Impresa: una grande opportunità anche per l'ICT* - Milano, 11 dicembre 2013 (*)
- *L'INAIL nell'era digitale: il valore della competenza* - Roma, 13 dicembre 2013 (*)
- *Premio di laurea AICA, CINI, CNIT e premio "Mario Tchou"* - Milano, 18 dicembre 2013 (*)
- *Divulgazione didattica e studio dell'Informatica* - Pisa, 20 dicembre 2013 (*)

2014

- *Didattica "Nuovi processi e paradigmi per la didattica"* - Napoli, 7-8 mag. 2014
- *Premio Nazionale per l'innovazione nell'ICT Perotto-Zucca* - Torino, 30 maggio 2014 (*)
- *Congresso Annuale AICA "Dai Bit agli Atomi: rilancio della manifattura e nuove competenze digitali"* - Milano, 13 novembre 2014
- *L'investigazione digitale: metodologie di intervento in casi di un incidente informatico aziendale, come acquisire, preservare e documentare la fonte di prova* - Pordenone, 2 dicembre 2014 (*)
- *Software solido ed usabile: come integrare ingegneria dell'usabilità e del software* - Pordenone, 16 dicembre 2014 (*)
- *Lo standard delle competenze e-CF (Uni 11506) e il benchmark Cepis delle competenze Italia-Europa* - Milano, 17 dicembre 2014 (*)

2015

- *Didamatica* “*Studio ergo Lavoro. Dalla società della conoscenza alla società delle competenze*” - Genova, 15-17 aprile 2015
- *Congresso Annuale AICA* “*Le competenze digitali per l'innovazione delle imprese*” - Camerino, 30 settembre 1 ottobre 2015 (*)

2016

- *Didamatica* “*Innovazione: sfida comune di scuola, università, ricerca e impresa*” - Udine, 19-21 aprile 2016
- *Congresso Annuale AICA* “*Digital for Job e Aica si racconta*” - Milano, 27 ottobre 2016
- *Cultura digitale per il Lavoro (primo seminario AgID-AICA)* - Roma, 19 novembre 2016 (*)
- *Reputazione Digitale, Innovazione, Sviluppo* - Bari, 5 dicembre 2016 (*)
- *Cultura digitale per il Lavoro (secondo seminario AgID-AICA)* - Roma, 6 dicembre 2016 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-USR Friuli Venezia Giulia* - Trieste, 14 dicembre 2016 (*)
- *Il sistema D.I.S.C. ed il Progetto Coaching, due strumenti utili a sviluppare strategie efficaci nella comunicazione e nei progetti* - Milano, 14 dicembre 2016 (*)
- *Concorsi Digitali e progetto “EDOC@WORK3.0” (AICA-USR Puglia)* - Bari, 15 dicembre 2016 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-USR Marche* - Ancona, 15 dicembre 2016 (*)
- *L'informatica metacognitiva a sostegno dei processi di apprendimento. La proposta LOGIC, la rete LOGINET* - Lecce, 17 dicembre 2016 (*)

2017

- *Didamatica* “*Le tecnologie digitali al centro dell'alternanza scuola-lavoro*” - Roma, 15-16 maggio 2017
- *Congresso Annuale AICA* “*Laboratorio di progetti per costruire la società digitale*” - Lecce, 20-21 ottobre 2017
- *APPSKI: Competenze digitali e imprenditoriali per gli sviluppatori di APP* - Milano, 23 novembre 2017 (*)
- *Il futuro del lavoro nella società digitale. Lavori, professioni, competenze e impresa nell'era digitale e nell'Industria 4.0* - Trieste, 27 novembre 2017 (*)
- *Workshop: Regolamento Europeo sulla Privacy (GDPR) Codici di condotta e certificazioni* - Roma, 5 dicembre 2017 (*)
- *Osservatorio delle Competenze Digitali: Le Competenze Digitali 4.0: Scuola, Lavoro e Impresa* - Milano, 12 dicembre 2017 (*)

2018

- *Didamatica* “*Nuovi metodi e saperi per formare all'innovazione*” - Cesena, 19-20 aprile 2018
- *Congresso Annuale AICA* “*Nuovi paradigmi della digital transformation e il futuro delle digital skill*” - Milano, 26 ottobre 2018 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali* - Genova, 15 novembre 2018 (*)

- *Premio di laurea su Etica e Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione* - Palermo, 27 novembre 2018 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-Regione Veneto* - Verona, 29 novembre 2018 (*)
- *Osservatorio delle Competenze Digitali 2018. Le Competenze Digitali 4.0: Scuola, Lavoro e Impresa* - Milano, 3 dicembre 2018 (*)
- *La cattedra conquistata: Donne e università in età liberale* - Bari, 4 dicembre 2018 (*)
- *Le proposte AICA per la scuola e il mondo del lavoro* - Roma, 4 dicembre 2018 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-USR Toscana* - Firenze, 6 dicembre 2018 (*)
- *Cultura e Competenze Digitali per il lavoro in azione* - Milano, 13 dicembre 2018 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-USR Marche* - Ancona, 14 dicembre 2018 (*)

2019

- *L'alba del pianeta delle macchine: la rivoluzione? L'Intelligenza Artificiale e la metamorfosi del mondo in cui viviamo* (incontri community D-Avengers) - Milano, 14 marzo 2019
- *Didamatica* “*BYOD, realtà aumentata e virtuale opportunità o minaccia per la formazione?*” - Reggio Calabria, 16-17 maggio 2019
- *Competenze e leadership digitali per governare l'impatto della tecnologia ampliandone i benefici* (incontri community D-Avengers) - Milano, 23 maggio 2019
- *Accelerazione tecnologica e macchine intelligenti: un futuro senza lavoro?* (incontri community D-Avengers) - Milano, 17 ottobre 2019
- *Congresso Annuale AICA* “*Società della conoscenza e tecnologie dirompenti: competenze per il domani?*” - Napoli, 21 ottobre 2019 (*)
- “*ICDL Digital Literacy Forum*” - Napoli, 22 ottobre 2019
- *Informatica e persone con disabilità o fragilità* - Bologna, 25 ottobre 2019 (*)
- *Come dominare macchine così potenti: l'impatto sull'etica* (incontri community D-Avengers) - Milano, 14 novembre 2019
- *Workshop: Blockchain, nuove prospettive e nuove sfide per le aziende e per i professionisti informatici* - Milano, 21 novembre 2019 (*)
- *Osservatorio delle Competenze Digitali 2019* - Roma, 11 dicembre 2019 (*)

2020

- *Metamorfosi digitale, nuove professioni, nuovi modelli organizzativi: esiste ancora il gender gap?* (incontri community D-Avengers) - Milano, 2 luglio 2020
- *Congresso Annuale AICA* “*IoT, tecnologie open, competenze digitali?*” - online, 26-27 ottobre 2020
- *Didamatica* “*Smarter School for Smart Cities*” - online, 12-13 novembre 2020
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-IeFP* - online, 25 novembre 2020 (*)
- *The European digital women diversity charter* - online, 26 novembre 2020 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-USR Molise* - online, 1 dicembre 2020 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-USR Puglia* - online, 1 dicembre 2020 (*)
- *L'Innovazione digitale non va in lockdown: alle imprese cogliere l'effetto startup* - online, 3 dicembre 2020 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso “Digitale @zione...” (AICA-USR Campania)* - online, 4 dicembre 2020 (*)

- *L'impatto della pandemia sulla domanda delle professioni ICT: come sta reagendo il settore del digitale?* - online, 9 dicembre 2020 (*)
- *Strumenti matematici per la protezione dell'ambiente, del territorio e dei beni culturali (giornata FIMA)* - online, 11 dicembre 2020 (*)

2021

- *Didattica "Artificial intelligence for education"* - Palermo, 7-8 ottobre 2021
- *Congresso Annuale AICA "Robotica, intelligenza artificiale e società"* - Roma, 28-29 ottobre 2021 (*)
- *Imparare a imparare, come la motivazione alimenta il coraggio di intraprendere e la capacità di reinventarsi* - Udine, 10 novembre 2021 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso "Progetti Digitali – IeFP" (AICA-Regione Liguria IeFP)* - Genova, 18 novembre 2021 (*)
- *Smart Working e DaD* - Bari, 18 novembre 2021 (*)
- *Come reagire alla violazione dei dati. Dalla Cybersecurity alle notifiche al Garante della Privacy per i Data Breach* - Udine, 22 novembre 2021 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso AICA-USR Toscana "Penso, Imparo, Rispetto: pensiero computazionale ed educazione digitale"* - online, 23 novembre 2021 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso "Tecnologie per la Didattica Digitale e Didattica Digitale Integrata" (AICA-USR Liguria)* - Genova, 24 novembre 2021 (*)
- *Webinar "Gender equality in the IT workplace: breaking down the barriers"* - online, 26 novembre 2021 (*)
- *Webinar: Cybersecurity, l'altra faccia del digitale* - online, 1 dicembre 2021 (*)
- *Premio ETIC 2020-2021 "Etica e Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione"* - Milano 1 dicembre 2021 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso "Educazione Digitale, l'uso creativo della rete ai tempi del COVID" (AICA-USR Basilicata)* - Policoro, 4 dicembre 2021 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso "Per una cultura digitale e mediatica contro la disinformazione online" (AICA-USR Umbria)* - online, 17 dicembre 2021 (*)

2022

- *Premio ETIC "Etica e Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione"* - Reggio Calabria, 7 maggio 2022 (*)
- *Congresso Annuale AICA "Cybersecurity. Protezione dei dati personali e transizione digitale: opportunità e rischi. Prospettive e strategie per l'interesse nazionale"* - Reggio Calabria, 27-28 ottobre 2022
- *Dalle competenze digitali alla digital literacy* - Sorrento, 3 novembre 2022 (*)
- *L'importanza delle certificazioni di competenze digitali nella scuola e nel mondo del lavoro* - Catanzaro, 7 novembre 2022 (*)
- *Didattica "La trasformazione digitale nella scuola, negli ITS, nell'università e nella formazione professionale"* - Milano, 10-11 novembre 2022
- *L'innovazione, la sostenibilità e il digitale nel settore del vino e birra artigianali (cena conviviale)* - Prepotto (UD), 19 novembre 2022 (*)
- *Innovazione tecnologica, transizione digitale ed ecologica: opportunità didattiche e prospettive occupazionali (Tavola rotonda)* - Cosenza, 12 dicembre 2022 (*)

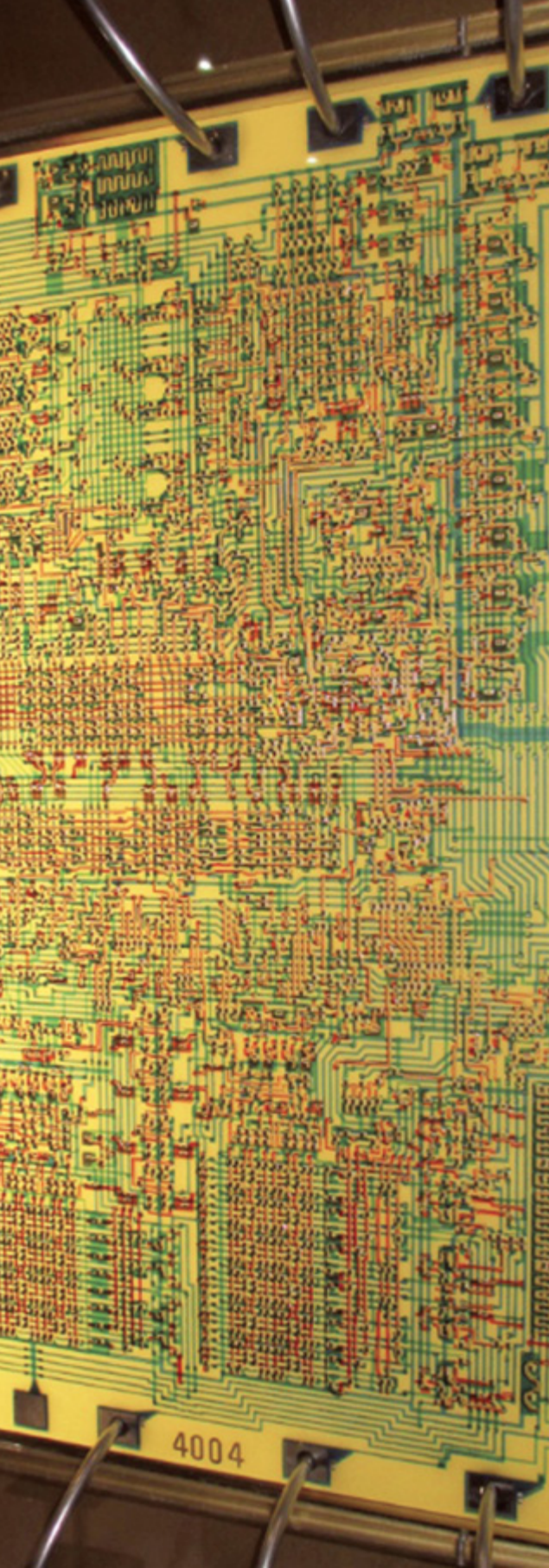
2023

- *Concorsi Digitali: premiazione concorso "Penso a una IDEA-Innovazione Digitale per l'Educazione Ambientale" (AICA-USR Toscana)* - Firenze, 13 gennaio 2023 (*)
- *Comunicare la professionalità: l'uso migliore di LinkedIn* - online, 19 gennaio 2023 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso "Go Green, Go Digital" (AICA-USR Umbria)* - online, 24 gennaio 2023 (*)
- *Videoconferenza sulla Sicurezza Cibernetica e sulla consapevolezza dell'utilizzo di Internet (Safer Internet Day 2023)* - Reggio Calabria, 7 febbraio 2023 (*)
- *Le competenze di cittadinanza digitale nell'era della chatGPT e del Metaverso* - Firenze, 10 marzo 2023 (*)
- *Comunicare la professionalità: l'uso migliore di LinkedIn* - online, 2 maggio 2023 (*)
- *Risparmio energetico e tutela ambientale nell'era della Società Digitale e Post-Carbon* - Torino, 15 maggio 2023 (*)
- *Cybersecurity e privacy nel mondo digitale* - Castrovillari, 19 maggio 2023 (*)
- *Utilizzi pratici e professionali di ChatGPT e delle IA generative* - Udine, 18 settembre 2023 (*)
- *BIG DATA, supercalcolo e imprese* - Cesena, 14 ottobre 2023 (*)
- *Congresso Annuale AICA "Dal calcolo automatico all'algoritmo autonomo: l'intelligenza artificiale alla prova di privacy e sicurezza per cittadini e imprese"* - Verona, 27-28 ottobre 2023 (*)
- *Robotic Day* - Forlì, 28 ottobre 2023 (*)
- *Uso consapevole della rete. Intelligenza artificiale e cittadini* - Orte, 8 novembre 2023 (*)
- *Competenze informatiche e rischi della rete. Perché è importante saper usare in modo consapevole le nuove tecnologie* - Bitonto, 22 novembre 2023 (*)
- *Esplorando le opportunità quantistiche. Guida alle carriere innovative* - Torino, 12 dicembre 2023 (*)
- *Presentazione Osservatorio sulle Competenze Digitali 2023. ICT: Nuovi Talenti Cercasi* - Roma, 12 dicembre 2023 (*)
- *La trasformazione digitale della Pubblica Amministrazione: il ruolo strategico delle competenze. L'esperienza delle Camere di commercio* - Roma, 13 dicembre 2023 (*)

2024

- *I Supercomputer e l'Intelligenza Artificiale* - Ravenna, 29 febbraio 2024 (*)
- *AICA e Google for Education: la sfida della cittadinanza digitale* - online, 12 marzo 2024 (*)
- *Educazione 4.0: il futuro della scuola nell'era del PNRR e dell'Intelligenza Artificiale* - Cosenza, 12 aprile 2024 (*)
- *Educazione 4.0: il futuro della scuola nell'era del PNRR e dell'Intelligenza Artificiale* - Potenza, 20 aprile 2024 (*)
- *Concorsi Digitali: premiazione concorso "AICA-IeFP - USR Friuli Venezia Giulia"* - Udine, 23 maggio 2024 (*)
- *IoT e applicazioni nel settore della robotica cooperativa e AI applicata alla mobilità connessa e autonoma* - Torino, 10 giugno 2024 (*)

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprema-vol3-38>

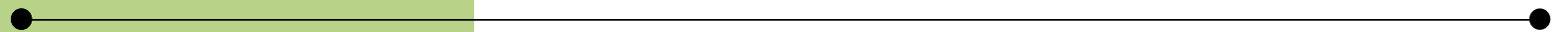


**Informatica
e società**

39

Luigi Laura
Roberto Grossi

**Le Olimpiadi Italiane
di Informatica**



Introduzione

Nel 1989 nascono a Pravetz, in Bulgaria, le Olimpiadi Internazionali di Informatica (International Olympiad in Informatics – IOI¹), una competizione di programmazione per ragazzi delle scuole superiori di tutto il mondo, sulla linea delle Olimpiadi Internazionali di Matematica, nate nel 1959 in Romania.

Le IOI sono organizzate su due giorni di gara; in ogni gara, ai ragazzi vengono proposti dei problemi che devono essere risolti mediante la scrittura di un programma, dove il punteggio ottenuto è in funzione non solo della correttezza del codice ma anche dell'efficienza computazionale; per poter partecipare alle IOI è necessario superare prima una competizione organizzata a livello nazionale.

L'Italia ha partecipato alle Olimpiadi in maniera sperimentale dal 2000 e solo dal 2001 ha iniziato a organizzare le competizioni nazionali, mediante una collaborazione tra AICA e l'allora Ministero dell'istruzione, dell'università e della ricerca – MIUR (oggi Ministero dell'istruzione e del merito - MIM) formalizzata con un protocollo d'intesa e finalizzata alla selezione dei partecipanti destinati a rappresentare l'Italia alle IOI. Dal 2003 la competizione ha preso il nome di Olimpiadi Italiane di Informatica².

In questo contributo cerchiamo di raccontare questo variegato mondo che coinvolge, ogni anno, più di trentamila ragazzi in tutta Italia. Inizieremo con l'organizzazione delle Olimpiadi, divise in tre fasi distinte: scolastica, territoriale e nazionale. Proseguiremo parlando delle IOI, focalizzandoci sulla preparazione della squadra italiana e raccontando dell'edizione 2012, organizzata in Italia. Concluderemo, poi, con una panoramica su altre gare simili, sia in campo internazionale che nazionale e con quello che è, probabilmente, l'unico aspetto negativo di questa competizione per ragazzi: i troppi cervelli in fuga dall'Italia.

Organizzazione

Le Olimpiadi Italiane di Informatica, praticamente fin dalla prima edizione del 2001, sono state organizzate in tre fasi distinte, schematizzate in Tab. 1, che possiamo descrivere come:

Fase scolastica

Gli studenti gareggiano nelle proprie scuole e devono risolvere quesiti a scelta multipla oppure quesiti a domanda aperta numerica.

Fase territoriale

Gli studenti gareggiano in una cinquantina di sedi dislocate su tutto il territorio nazionale; la prova, in questo caso, è al computer e consiste nel risolvere tre o quattro problemi senza tenere eccessivamente conto dell'efficienza computazionale.

1. <https://ioinformatics.org/>

2. <https://www.olimpiadi-informatica.it/>

Finale nazionale

Della durata di tre giorni, in una sede diversa ogni anno; come per la fase precedente, la prova è al computer, e richiede la soluzione di tre o quattro problemi ma stavolta viene premiata anche l'efficienza computazionale.

La Tab. 1, in aggiunta alle tre fasi sopra menzionate, mostra anche le due successive fasi che coinvolgono i migliori della finale italiana: la fase di formazione e selezione pro-pedeutica all'ultima fase, l'apice della competizione, la partecipazione alle IOI.

Nel seguito, per ognuna delle tre fasi, mostriamo alcuni esempi di quesiti³.

Fase scolastica

All'inizio, la prova scolastica è stata pensata per poter essere svolta con carta e penna, sia per poter coinvolgere in maniera semplice il maggior numero di studenti, sia perché non tutte le scuole avevano, nei primi anni del duemila, laboratori informatici con un numero di postazioni sufficienti per tutti. Ogni scuola ha un referente scolastico a cui viene inviata, con un anticipo adeguato, la prova; agli inizi era tale referente a inserire i risultati degli studenti in una piattaforma web mentre, nelle ultime edizioni, gli studenti possono fare la prova direttamente su cellulare, tablet o computer e gli esiti vengono acquisiti dal sistema di gara, mentre al referente si chiede, oltre al coordinamento della gara, l'inserimento dei soli esiti per chi ancora svolge la gara con carta e penna.

La prova è strutturata in tre tipologie di quesiti: logico-matematici, di programmazione e algoritmici. È importante sottolineare che per poter sostenere questa prova non servono particolari conoscenze pregresse, basta avere una buona attitudine logico-matematica ed essere portati al pensiero computazionale. Informalmente, nel team tecnico, si scherza sempre sul fatto che questa prima prova sia al livello di alcuni dei quesiti de *La Settimana Enigmistica* e questo non è un caso, in quanto lo scopo di questa prova è sempre stato (oltre, ovviamente, a quello canonico di selezionare per la fase successiva) quello di incuriosire il lettore casuale e mostrargli che l'informatica può essere divertente e alla sua portata.

Un aneddoto che certifica almeno un caso di successo di questo approccio è dato dalla storia di Federico Santaroni, uno studente di un liceo scientifico in cui non veniva insegnata informatica a cui il professore (il referente scolastico) ha chiesto se volesse provare a cimentarsi nella gara; Federico racconta di aver deciso di partecipare perché “non sapevo niente di informatica, ma avrei saltato l'ora di filosofia”; Federico ha superato la prova scolastica e questo gli ha dato la spinta per prepararsi per la fase successiva; da qui, si è appassionato all'informatica, ha superato la prova territoriale e ha, infine, preso una medaglia di bronzo alla finale nazionale. Si è iscritto a ingegneria informatica e, dopo le lauree, sia triennale che magistrale, ha preso un dottorato, in ingegneria informatica. Altri ragazzi, negli anni, ci hanno raccontato storie simili a questa.

3. Se volete cimentarvi nella risoluzione delle prove proposte, all'indirizzo <https://olinfo.it/> trovate il portale degli allenamenti che rimanda poi alle piattaforme dedicate alle singole fasi.

Schema organizzativo delle Olimpiadi Italiane di Informatica

Fase	Numero partecipanti	Sede	Periodo	Competenze richieste
Scolastica	~ 15-18k	Proprio istituto scolastico	novembre dicembre	Saper leggere codice
Territoriale	~ 2k	~ 50 istituti dislocati sul territorio	aprile maggio	Saper scrivere codice
Finale nazionale	~ 100	Un istituto scolastico (o un'università) in una città italiana diversa ogni anno	settembre ottobre	Saper scrivere codice efficiente
Selezione dei rappresentanti italiani per le IOI	~ 20	In parte online, in parte presso il SIAF di Volterra	Di solito quattro periodi di formazione e selezione distribuiti tra ottobre e agosto	Saper scrivere codice efficiente; vengono preparati su algoritmi e strutture dati
Partecipare alle IOI	4	Una nazione diversa ogni anno	agosto	Saper scrivere codice efficiente, conoscenza del syllabus delle IOI

Tab. 1 Schema organizzativo delle Olimpiadi Italiane di Informatica.

Esercizio #3: la risposta corretta vale 3 punti

Nel suo famosissimo *Liber Abaci*, Fibonacci propone, tra gli altri, anche il problema delle uova: una contadina porta delle uova al mercato. Sa che contandole a 2 a 2 ne avanza 1, contandole a 3 a 3 ne avanza 1, a 4 a 4 ne avanza 1, a 5 a 5 ne avanza 1, a 6 a 6 ne avanza sempre 1, mentre contandole a 7 a 7 non ne avanza nessuna. Il minor numero di uova che rispetta tali vincoli, e che Fibonacci invitava a calcolare, è 301.

Riesci a calcolare il minimo numero che rispetti i seguenti vincoli? Sai che contandole a 5 a 5 ne avanza 1, contandole a 6 a 6 ne avanza 1, contandole a 7 a 7 non ne avanza nessuna.

Quanto vale F , il più piccolo numero che rispetta i vincoli descritti?

Esercizio #4: la risposta corretta vale 3 punti

Noi usiamo il sistema numerico decimale, ovvero il sistema di numerazione posizionale a base 10. Nei computer si usa il sistema numerico binario, ovvero il sistema di numerazione posizionale a base 2. Ovviamente, si possono usare altri valori per la base. In particolare, se $17+12=30$, quanto fa $17*3$?

Come probabilmente avrai intuito, la domanda fa riferimento a una base diversa da 10. Importante: anche la tua risposta deve essere nella stessa base (ovvero, non in base 10)!

Fig. 1 Un paio di esempi di quesiti logico-matematici dalla gara scolastica 2021-22.

Quesiti logico-matematici

Qui di seguito riportiamo un paio di esempi, presi dalla prova scolastica del 2021-22 (come per tutte le immagini presentate in questo contributo, la fonte è olinfo.it).

Quesiti di programmazione

Di seguito mostriamo un paio di esempi di quesiti di programmazione; come menzionato in precedenza, in questa fase della competizione si richiede di saper leggere il codice; in particolare, dalla prima edizione fino al 2017-18 si sono usati, contemporaneamente, i linguaggi C e Pascal, come mostrato nella Fig. 2. Dall'anno successivo si è scelto di svincolarsi dal linguaggio usando uno pseudo-codice (Fig. 3). Come si può vedere nelle Figg. 2 e 3, gli esercizi di programmazione (come anche gli altri) sono sia a scelta multipla (Fig. 2) che a risposta numerica aperta (Fig. 3).

Quesiti algoritmici

L'ultima tipologia di problemi in cui gli studenti si devono cimentare nella gara scolastica sono i quesiti di tipo algoritmico. Nella figura che segue ne mostriamo un paio; il primo, tutto sommato semplice, utilizza la metafora dei salti di Hulk per insegnare ai ragazzi qualcosa che è, a dir poco, strettamente collegato con la conversione di un numero in binario. Nel secondo quesito, invece, il lettore con un poco di esperienza di algoritmi su grafi non fatterà a riconoscere il problema del Minimo Albero Ricoprente (*Minimum Spanning Tree*).

Fase territoriale

La fase territoriale è la prima in cui i ragazzi devono scrivere codice per risolvere gli esercizi (che possono essere tre o quattro, a seconda della difficoltà degli stessi). Nella Fig. 5 si vede un esempio di un problema e si vedono le caratteristiche tipiche dei problemi delle IOI (e di tante altre gare di programmazione): il problema è descritto mediante una metafora, in questo caso una scuola per Sommelier, e dopo la metafora c'è una descrizione precisa del formato di input e output richiesti. I ragazzi dovranno, per risolvere il problema, scrivere un programma che legga l'input, calcoli la soluzione e la salvi nel formato richiesto per l'output. C'è poi, una sezione di "Assunzioni", che consente di dimensionare alcune costanti.

Finale nazionale

Il momento conclusivo delle Olimpiadi Italiane di Informatica è, ovviamente, la finale nazionale, un evento che si svolge nell'arco di tre giorni, generalmente da un giovedì a un sabato di fine settembre o di ottobre.

I partecipanti arrivano il giovedì in mattinata e nel pomeriggio c'è la cerimonia di apertura, presenziata dalle autorità locali; nel 2023, a Bergamo, la cerimonia si è svolta nel palazzo comunale in presenza del sindaco. Dopo la cerimonia, ai concorrenti vengono fatte provare postazioni di gara: questo test da un lato consente ai ragazzi di prendere confidenza con il computer e il sistema di gara risolvendo problemi a loro già noti – in maniera che l'unico aspetto potenzialmente nuovo e da testare sia proprio la sottomissione delle soluzioni – dall'altro permette allo staff tecnico di verificare il corretto funzionamento, a pieno carico, di tutto il sistema.

Esercizio N° 7 – La risposta esatta vale 2 punti.

È dato il seguente programma:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main() {
  int a,b,c,x1,x2,delta;
  a=1; b=1; c=-2;
  delta=b*b-4*a*c;
  x1=(-b-sqrt(delta))/2;
  x2=(-b+sqrt(delta))/2;
  if (a*x1*x1+b*x1+c == 0)
    printf("La sol.1 è corretta, ");
  else
    printf("La sol.1 è sbagliata, ");
  if (a*x2*x2+b*x2+c == 0)
    printf("La sol.2 è corretta.\n");
  else
    printf("La sol.2 è sbagliata.\n");
  return 0;
}

program E7 (input,output);
var
  a,b,c,delta: integer;
  x1,x2: real;
begin
  a:=1; b:=1; c:=-2;
  delta:=b*b-4*a*c;
  x1:=(-b-sqrt(delta))/2;
  x2:=(-b+sqrt(delta))/2;
  if a*x1*x1+b*x1+c = 0 then
    writeln('La sol.1 è corretta')
  else
    writeln('La sol.1 è sbagliata');
  if a*x2*x2+b*x2+c = 0 then
    writeln('La sol.2 è corretta')
  else
    writeln('La sol.2 è sbagliata')
end.
```

Cosa viene visualizzato a video dall'esecuzione di main()?

- a) La sol.1 è sbagliata, la sol.2 è sbagliata.
- b) La sol.1 è corretta, la sol.2 è sbagliata.
- c) La sol.1 è sbagliata, la sol.2 è corretta.
- d) La sol.1 è corretta, la sol.2 è corretta.

Fig. 2 Un esercizio di programmazione dalla gara scolastica 2015-16; notare il codice scritto sia in C che in Pascal.

Fig. 3 Un esercizio di programmazione dalla gara scolastica del 2021-22, scritto in pseudo-codice.

Esercizio #7: la risposta corretta vale 2 punti

Data la seguente funzione:

```
1: function F(n: integer) → integer
2:   if n < 10 then
3:     return F(n + 1) + 3
4:   else
5:     if n = 10 then
6:       return 7
7:     else
8:       return F(n - 2) - 1
9:     end if
10:  end if
11: end function
```

Quanto vale F(11)?

Esercizio N° 18 – La risposta esatta vale 2 punti.

Quando il Dr. Bruce Banner si trasforma nell'incredibile Hulk, acquista sempre più forza ad ogni minuto che passa.

Al tempo t=0 riesce a saltare un solo metro, al tempo t=1 minuto ne salta due, al tempo t=2 minuti ne salta quattro e così via: in generale, al tempo t ≥ 0 minuti riesce a saltare 2^t metri.

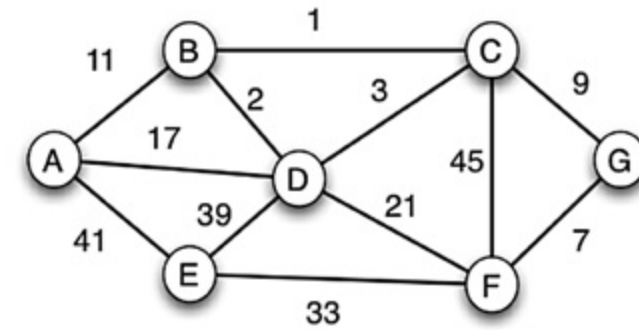
Tuttavia l'incredibile Hulk può saltare sempre e solo nella stessa direzione: dunque ad ogni istante t può decidere se saltare in avanti alla distanza permessagli in quel momento oppure stare fermo e aspettare che la distanza permessagli aumenti, in modo da percorrere una certa distanza D > 0, espressa in metri, effettuando il minor numero possibile di salti.

Per esempio, per D=9, Hulk salta due volte (effettua un salto da 1 metro a t=0 e uno da 8 metri a t=3 minuti); per D=7, Hulk salta tre volte (un salto da 1 metro a t=0, uno da 2 metri a t = 1 minuto e uno da 4 metri a t=2 minuti); per D=16, Hulk effettua il solo salto da 16 metri a t=4 minuti.

Qual è il numero di salti NS che deve fare Hulk per coprire 77 metri?

Esercizio N° 20 – La risposta esatta vale 3 punti.

Ci sono 7 computer, rappresentati dalle lettere da A a G, che devono essere collegati in rete mediante cavi. Non tutti i collegamenti sono possibili. In figura sono mostrati i computer e, per ogni collegamento possibile, il relativo costo. Ad esempio, è possibile collegare tra di loro i computer A e D spendendo 17, e i computer G e F spendendo 7.



Sapendo che, per collegare tutti i computer alla rete sono necessari esattamente 6 collegamenti, si chiede di trovare i 6 collegamenti tali che:

- 1) tutti i computer siano collegati tra di loro
- 2) il costo complessivo dei collegamenti sia minimo

Si chiede quindi di indicare, in ordine dal più economico al più costoso, i costi dei 6 collegamenti scelti che soddisfino le proprietà sopra indicate.

Fig. 4 Due esempi di quesiti di tipo algoritmico, dalla gara scolastica 2013-14.

3 Corso per Sommelier (sommelier) [Difficoltà D=2]

3.1 Descrizione del problema

Paolo, per festeggiare il suo quarantesimo compleanno, si è iscritto a un corso per sommelier, dove impara a distinguere ed apprezzare le diverse tipologie di vini. Si è accorto però che, nonostante prenda solo un assaggio di ogni tipo di vino, per lui vale la regola fondamentale delle bevande alcoliche: quando le bevi, mai scendere di gradazione. Infatti, se per esempio Paolo assaggia un vino da 9 gradi e poi uno da 7, il giorno dopo si sveglierà con un grosso mal di testa indipendentemente dalle quantità.

Per fortuna, in ogni serata del corso è disponibile l'elenco dei vini che verranno portati uno dopo l'altro, e di ogni vino viene riportata la gradazione alcolica. Non è ammesso mettere da parte un vino per berlo in seguito: ogni volta che gli viene passato un vino Paolo può decidere se assaggiarlo o meno, versandone un poco nel suo Tastevin.

Inoltre, dal momento che dopo aver assaggiato un vino Paolo deve pulire accuratamente il suo Tastevin con un panno, questa operazione in pratica gli impedisce di assaggiare due vini consecutivi (nell'immagine qui a fianco potete vedere il Tastevin). Paolo desidera assaggiare il maggior numero di vini possibile.



1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cilento	Barolo	Lambrusco	Picolit	Verdicchio	Cannonau	Chianti	Pigato	Donzelle
11	13	10	16	12	12	13	11	13

Ad esempio, se in una serata serviranno i vini mostrati nella tabella qui sopra, nell'ordine in cui compaiono nella tabella, il numero massimo di vini che Paolo può riuscire ad assaggiare, rispettando la regola, è quattro: può iniziare, indifferentemente, con il Cilento o con il Lambrusco, e poi assaggiare Verdicchio, Chianti e Donzelle. In questa maniera, la sequenza delle gradazioni alcoliche non scende mai: 11 (oppure 10), 12, 13, 13. Ovviamente, come si vede nell'esempio, è possibile bere due o più vini con la stessa gradazione alcolica.

Dati di input

Il file `input.txt` è composto da 2 righe. La prima riga contiene N , un intero positivo: il numero di vini che saranno serviti nella serata. La seconda riga contiene N interi positivi: le gradazioni alcoliche dei vini che saranno serviti, nell'ordine in cui saranno serviti.

Dati di output

Il file `output.txt` è composto da una sola riga contenente un solo intero positivo: il numero massimo di vini che Paolo può assaggiare nella serata, rispettando la regola di non diminuire la gradazione alcolica nella sequenza e, contemporaneamente, il vincolo di dover pulire il Tastevin, che gli impedisce di assaggiare due vini consecutivi.

Assunzioni

- $2 \leq N \leq 99$.
- I vini hanno una gradazione alcolica compresa tra 1 e 99.

Il venerdì mattina si svolge la gara, della durata di cinque ore (solitamente dalle ore 9 alle ore 14); i ragazzi possono portare, in analogia con le IOI, una tastiera (non programmabile) e, soprattutto, la propria *mascolte*, un portafortuna personale, tipicamente un peluche o un pupazzo di qualche tipo.

Al termine della gara, subito dopo il meritato pranzo, i concorrenti vengono accompagnati in un'escursione in una località di interesse nei dintorni e questo è, solitamente, il primo vero momento in cui, passato lo stress, socializzano tra di loro, scambiandosi commenti sui problemi della gara e sui modi in cui li hanno risolti o hanno provato a risolverli; spesso nascono amicizie durature e – come vedremo nel caso di Foschini e Signorini – importanti per la loro vita professionale.

Il venerdì sera o il sabato, prima della premiazione, un docente di un'università locale viene invitato a tenere una *Lectio Magistralis* per gli studenti, su tematiche attinenti, ovviamente, l'informatica.

Il sabato si conclude la finale con il momento più atteso: la cerimonia di premiazione in cui i partecipanti scoprono qual è il loro piazzamento e chi ha vinto. Lo staff tecnico, a fine cerimonia, approfitta del momento per prendere i primi contatti con chi rientra tra i Probabili Olimpici, ovvero circa una ventina di ragazze e ragazzi che, come vedremo nel seguito, seguiranno un percorso di formazione e selezione al termine del quale quattro di loro saranno scelti per rappresentare l'Italia alle IOI.

Nelle due figure che seguono possiamo vedere un problema dalla finale nazionale 2014. Il problema somiglia a quello della figura precedente preso dalla gara territoriale della stessa edizione, ma ha una differenza sostanziale: nella descrizione, nella sezione "Assegnazione del punteggio", compaiono una serie di *subtask*, che vanno abbinati al tempo limite di un secondo, riportato appena sotto il titolo del problema. Questi *subtask* servono a distinguere la bontà della soluzione in termini di complessità computazionale.

Per il problema mostrato in figura, Taglialegna, esistono soluzioni di diverse complessità: indicando con n il numero di alberi da abbattere è abbastanza facile trovare la soluzione cubica ($O(n^3)$); anche la soluzione quadratica ($O(n^2)$) non è troppo difficile; le soluzioni di complessità $O(n \log n)$ e, soprattutto, $O(n)$, la soluzione lineare, sono estremamente difficili, al livello di una competizione internazionale. Non a caso, solo un ragazzo è riuscito nella finale, a scrivere la soluzione lineare, che gli ha consentito di classificarsi al primo posto, con relativa medaglia d'oro.

A proposito di medaglia d'oro, approfittiamo per chiarire come funziona il meccanismo di assegnazione delle medaglie alla finale nazionale, che è mutuato dalle IOI. L'idea di base è che al massimo metà dei partecipanti prenda una medaglia e la regola di base assegna le medaglie d'oro a un dodicesimo dei partecipanti, quelle d'argento a un sesto e quelle di bronzo a un quarto. Quindi, in una tipica finale nazionale con un centinaio di partecipanti, vengono assegnate circa otto medaglie d'oro, 16 d'argento e 25 di bronzo, con piccole modifiche nei numeri sulla base dell'eventuale presenza di concorrenti a parità di punteggio in classifica.

Fig. 5 Un esempio di un problema dalla gara territoriale 2013-2014.

Struttura Organizzativa

L'organizzazione delle Olimpiadi Italiane di Informatica nasce nell'ambito di un protocollo d'intesa sottoscritto nel 2000 dal Ministero dell'istruzione e dall'AICA che comprende anche la gestione della patente europea del computer (ECDL, poi diventata ICDL) e uno studio dei programmi di informatica negli istituti scolastici. Il protocollo, che viene rinnovato con periodicità triennale, prevede che il ministero e l'AICA nominino un comitato congiunto costituito da un paio di rappresentanti per entrambe le istituzioni. Il comitato congiunto, a sua volta, nomina il Comitato olimpico, costituito da:

- un delegato del ministero;
- un delegato dell'AICA;
- tre esperti provenienti dal mondo della scuola secondaria: un docente e due dirigenti, di cui uno è il dirigente dell'istituzione scolastica vincitrice del bando di gara e destinataria dei fondi attribuiti per l'organizzazione e la partecipazione alle suddette competizioni;
- tre esperti provenienti dal mondo dell'università.

Il Comitato olimpico supervisiona la gestione delle Olimpiadi, sia per quanto riguarda gli aspetti organizzativi che, soprattutto, quelli tecnico scientifici. La gestione operativa di tutte le fasi, compresa la formazione e la selezione dei partecipanti alle IOI, è affidata a tre diverse entità:

- la segreteria delle Olimpiadi, costituita presso AICA e composta da personale dell'AICA;
- l'amministrazione, presso l'istituto scolastico vincitore del bando ministeriale per la gestione dei fondi;
- lo staff tecnico, costituito in gran parte da ex studenti che hanno partecipato alle IOI negli anni precedenti.

Partecipazione all'International Olympiad in Informatics

Vincere le Olimpiadi Italiane di Informatica è, come intravisto nella Tab. 1, un primo passo per poter rappresentare l'Italia alle IOI. Al termine di ogni finale, vengono selezionati circa venti medagliati che comprendono tutti i vincitori della medaglia d'oro e alcuni – i più giovani – tra i vincitori di medaglie d'argento e di bronzo.

Questo gruppo di ragazzi, denominato Probabili Olimpici (PO), partecipa a un processo di selezione e formazione sotto la supervisione dei tutor dello staff tecnico, ovvero alcuni dei ragazzi che negli anni precedenti hanno vinto le Olimpiadi Italiane e poi partecipato alle IOI.

Nei primi anni del Duemila questa fase di selezione e formazione era puramente residenziale, a Pisa, con la collaborazione dell'Università e della Scuola Normale Superiore, che mettevano a disposizione alcune strutture del Dipartimento di Informatica per la didattica oltre a consentire l'accesso alla mensa e al dormitorio della Normale; poi ci si è spostati al SIAF (Scuola Internazionale di Alta Formazione) di Volterra, grazie

alla Scuola Superiore Sant'Anna; in tempi più recenti, dopo la pandemia, questa fase si svolge alternando periodi online e periodi residenziali sempre presso il SIAF.

In questa fase, i tutor fanno lezioni su tutte le competenze necessarie per poter competere ad alti livelli, dalla teoria degli algoritmi a trucchi di programmazione per velocizzare il codice scritto. A ciò si alternano esercitazioni e, soprattutto, gare che servono a selezionare i migliori quattro che saranno i rappresentanti dell'Italia alle IOI.

L'Italia, come menzionato in precedenza, partecipa ufficialmente alle IOI fin dal 2000, vincendo una medaglia di bronzo già alla sua prima partecipazione. Nel complesso, fino all'edizione del 2023, che si è svolta in Ungheria, l'Italia ha vinto due medaglie d'oro, 24 d'argento e 40 di bronzo. Gli ori sono stati vinti nel 2004, in Grecia, da Luca Barbieri e nel 2013, in Australia, da Federico Glaudo.

Ci sono tracce, nel sito di statistiche delle IOI⁴, di partecipazioni dell'Italia nelle edizioni tra il 1990 e il 1995 (escluso il 1993), ma non abbiamo informazioni in merito tranne l'aver parlato con Giuseppe Mastronardi, autore del contributo su Sicurezza Informatica e Privacy del volume 2, che ha però smentito la sua partecipazione nel 1992, riportata nel sito.

International Olympiad in Informatics in Italia: Sirmione 2012

La 24ª edizione delle Olimpiadi Internazionali di Informatica (IOI 2012) si è svolta a Sirmione e Montichiari, vicino al Lago di Garda, dal 23 al 30 settembre 2012. Le IOI 2012 sono state organizzate e finanziate dal MIUR tramite l'Ufficio Scolastico Regionale della Lombardia e dall'AICA. Hanno collaborato la Provincia di Brescia, il Comune di Sirmione, il Comune di Montichiari, il Politecnico di Milano, il Centro Fiera del Garda e l'Istituto Tecnico "Enrico Tosi".

Il Presidente del Comitato IOI 2012 è stato Giuseppe Colosio, direttore dell'Ufficio Scolastico Regionale per la Lombardia. L'evento ha ricevuto il patrocinio del Presidente della Repubblica Italiana, Giorgio Napolitano, e il supporto di vari sponsor istituzionali e aziendali, tra cui Fondazione Cariplo, Norton by Symantec, Eni, SEA e Unicredit. Inoltre, l'UNESCO ha concesso il patrocinio ufficiale alla manifestazione, sottolineando l'importanza e il prestigio dell'evento.

Le IOI 2012 hanno visto la partecipazione di 85 squadre internazionali, ciascuna composta da quattro studenti. L'Italia, in quanto paese ospitante, ha avuto l'opportunità di schierare due squadre: una in competizione ufficiale e una fuori concorso. Le gare si sono svolte presso il Centro Fiera del Garda di Montichiari, dove si sono tenute anche le cerimonie di apertura e chiusura, la prima alla presenza dell'allora Ministro Francesco Profumo.

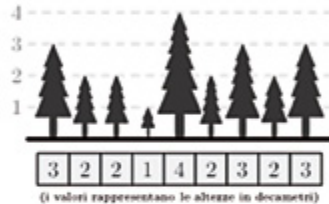
Il supporto organizzativo è stato coordinato da Giuseppe Colosio tramite la sua presenza nell'International Committee (IC) delle IOI, in collaborazione con Benedetto Di Rienzo, Marta Genovì De Vita, Antonio Lo Bello e il personale AICA, tra cui Monica Gati, Daniela Rovina e Fabio Zanzottera.

4. <https://stats.ioinformatics.org/>

Taglialegna (taglialegna)

Limite di tempo: 1.0 secondi
 Limite di memoria: 256 MiB

La Abbatti S.p.A. è una grossa azienda che lavora nel settore del disboscamento. In particolare, nel tempo si è specializzata nel taglio degli *alberi cortecciosi*, una tipologia di alberi estremamente alti, robusti e ostinati. Si tratta di una specie molto ordinata: i boschi formati da questi alberi consistono in una lunghissima fila di tronchi disposti lungo una fila orizzontale a esattamente un decametro l'uno dall'altro. Ogni albero ha una altezza, espressa da un numero (positivo) di decimetri.



Il taglio di un albero corteccioso è un compito delicato e, nonostante l'uso delle più avanzate tecnologie di abbattimento, richiede comunque molto tempo, data la loro cortecciosità. Gli operai sono in grado di segare i tronchi in modo che l'albero cada a destra o a sinistra, secondo la loro scelta.

Quando un albero corteccioso viene tagliato e cade, si abbatte sugli eventuali alberi non ancora tagliati che si trovano nella traiettoria della caduta, ovvero tutti quegli alberi non ancora tagliati che si trovano ad una distanza strettamente minore dell'altezza dell'albero appena segato, nella direzione della caduta. Data la mole degli alberi cortecciosi, gli alberi colpiti dalla caduta vengono a loro volta spezzati alla base, cadendo nella direzione dell'urto, innescando un effetto domino.

Per assicurarsi il primato nel settore, la Abbatti S.p.A. ha deciso di installare un sistema in grado di analizzare il bosco, determinando quali alberi gli operai dovranno segare, nonché la direzione della loro caduta, affinché tutti gli alberi cortecciosi risultino abbattuti alla fine del processo. Naturalmente, il numero di alberi da far tagliare agli operai deve essere il minore possibile, per contenere i costi. In quanto consulente informatico della società, sei incaricato di implementare il sistema.

Assegnazione del punteggio

Il tuo programma verrà testato su diversi test case raggruppati in subtask. Per ottenere il punteggio relativo ad un subtask, è necessario risolvere correttamente tutti i test relativi ad esso.

- **Subtask 1 [5 punti]:** Casi d'esempio.
- **Subtask 2 [9 punti]:** Gli alberi possono essere alti solo 1 o 2 decimetri.
- **Subtask 3 [20 punti]:** $N \leq 50$.
- **Subtask 4 [19 punti]:** $N \leq 400$.
- **Subtask 5 [22 punti]:** $N \leq 5000$.
- **Subtask 6 [14 punti]:** $N \leq 100000$.
- **Subtask 7 [11 punti]:** Nessuna limitazione specifica (vedi la sezione **Assunzioni**).

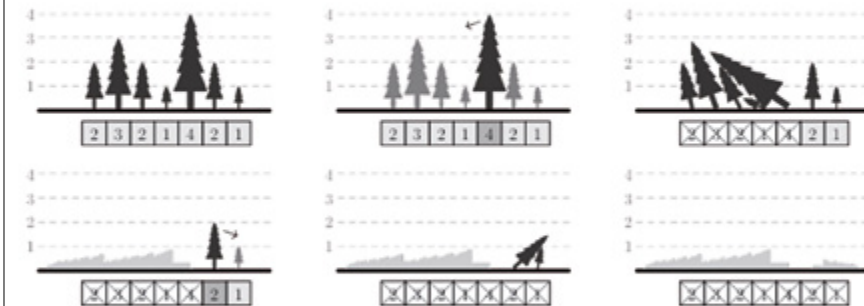
Fig. 6 Un esempio di un problema dalla finale nazionale 2013 (prima parte).

Esempi di input/output

input.txt	output.txt
7	4 0
2 3 2 1 4 2 1	5 1
6	0 1
3 1 4 1 2 1	

Spiegazione

Nel **primo caso d'esempio** è possibile abbattere tutti gli alberi segando il quinto albero (alto 4 decimetri) facendolo cadere a sinistra, e il sesto albero (alto 2 decimetri) facendolo cadere a destra. Il primo albero tagliato innesca un effetto domino che abbatte tutti gli alberi alla sua sinistra, mentre il secondo abbatte l'ultimo albero nella caduta.



Nel **secondo caso d'esempio** tagliando il primo albero in modo che cada verso destra vengono abbattuti anche tutti gli alberi rimanenti.

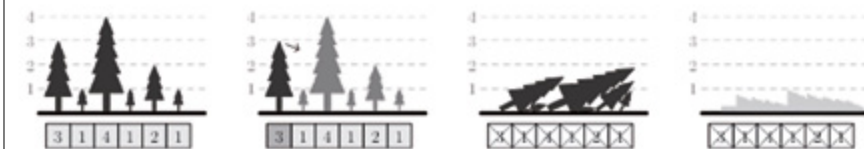


Fig. 7 Un esempio di un problema dalla finale nazionale 2013 (seconda parte).

Il supporto scientifico è stato fornito tramite la presenza di Roberto Grossi nell'International Scientific Committee (ISC) delle IOI avvalendosi, a livello nazionale, della collaborazione dei colleghi universitari Paolo Boldi, Giorgio Casadei e Nello Scarabotolo, insieme ai giovani tutor Matteo Boscariol, Giovanni Campagna, Stefano Maggiolo, Giovanni Mascellani, Giovanni Paolini e Luca Wehrstedt.

Alcuni di loro hanno contribuito alla creazione di un nuovo sistema di gara chiamato Contest Management System (CMS) disponibile come open source (cms-dev.github.io) e tuttora utilizzato in molte edizioni delle IOI.

Uno staff di volontari e studenti di lingue straniere ha assistito le squadre durante l'evento, garantendo il supporto linguistico necessario. Particolare attenzione è stata riservata all'organizzazione di attività di socializzazione con eventi pomeridiani e serali per favorire l'interazione e la comunicazione tra i giovani. Le squadre hanno alloggiato presso il Garda Village di Sirmione, mentre i trasferimenti sono stati gestiti tramite un servizio di transfer aeroportuale e mezzi pubblici. Inoltre, è stata effettuata una gita sociale a Venezia, un'opportunità unica per scoprire una delle città più affascinanti d'Italia.

Le IOI 2012 hanno rappresentato un'importante opportunità per giovani talenti di confrontarsi e crescere in un contesto internazionale. È raro e affascinante poter organizzare eventi scientifici di carattere informatico che abbiano una tale varietà di paesi partecipanti come accade nelle IOI, con oltre 600 partecipanti. La preparazione di questo evento ha richiesto un lungo lavoro di relazioni internazionali negli anni precedenti e ha lasciato alle edizioni successive uno strumento di gestione delle gare (CMS) che viene tuttora apprezzato e usato.

Aspetti tecnico-scientifici

L'informatica è una materia piuttosto vasta, come si può vedere anche in questa opera che raccoglie aspetti storici relativi all'Informatica in Italia. Le IOI non coprono tutti gli aspetti dell'Informatica, anzi, probabilmente, sarebbe corretto chiamarle Olimpiadi Algoritmiche in quanto sono incentrate sull'implementazione di algoritmi efficienti (si veda il contributo di Fabrizio Luccio nel volume 2 relativo a Teoria della computazione e algoritmi) come si è visto, ad esempio, con il problema Taglialegna (Figg. 6 e 7) dalla finale nazionale 2014.

I linguaggi di programmazione accettati riflettono quest'impostazione: fin dalle origini è stato possibile, per i partecipanti, scrivere i programmi in Pascal, C o C++.

Il regolamento delle IOI 1992 (il primo disponibile sul sito delle IOI) consentiva:

- Turbo Pascal V. 5.5 and V. 6.0
- Turbo C ++ and Microsoft C V.5, Quick C
- Quick BASIC V.4 and GWBASIC
- LCN Logo V.2

Nel 1993 la lista veniva aggiornata solo con le nuove versioni, mentre dal 1995 e dal 1998 vengono eliminati, rispettivamente, il Logo e il BASIC, lasciando solo Pascal, C e C++ che proprio per questo sono stati quelli accettati nelle Olimpiadi Italiane fin dalle origini⁵.

Negli anni sono state fatte diverse richieste per allargare la rosa dei linguaggi ammessi; in tempi recenti, sono stati ammessi anche Java e Python per poi essere nuovamente esclusi; l'edizione in programma nel 2024 in Egitto ammette solo il C++, che per certi versi è stato lo standard *de facto* in questo millennio; non sono ammesse librerie nella stesura dei programmi ad eccezione della Standard Template Library (STL).

In generale, la scelta di consentire solo un linguaggio compilato è sempre stata motivata dalla necessità di poter fare una valutazione equa del codice scritto dai ragazzi: in questo modo è possibile misurare i tempi in maniera oggettiva e con una grande accuratezza. Java e Python, in maniera diversa, presentano problematiche di misura delle performance legate alla macchina virtuale (Java) e all'esecuzione di codice interpretato (Python).

Per gli stessi motivi, per il C++, si consente l'uso solo di una libreria, la STL, peraltro molto collaudata. Consentire un maggior numero di librerie comporterebbe, inevitabilmente, il rischio di avere la stessa funzionalità in diverse librerie, con performance diverse; questo rischierebbe di privilegiare gli studenti che, magari anche inconsapevolmente, usano la versione più efficiente tra quelle disponibili.

C'è una rivista accademica dedicata alle IOI – che non a caso si chiama “Olympiad in Informatics”⁶ – fondata nel 2007 dalla comunità delle IOI insieme all'istituto di Matematica e Informatica dell'Università di Vilnius. Questa rivista ha una periodicità annuale e i contributi pubblicati vengono presentati anche, come in una conferenza, durante le IOI. Il lettore interessato ad approfondire gli aspetti tecnici di questa manifestazione e, più in generale, delle gare di programmazione, può fare riferimento al sito della rivista. In bibliografia riportiamo anche un paio di testi che sono tra i principali riferimenti per prepararsi a gare di programmazione come le IOI.

Altre competizioni internazionali

La gara di programmazione più importante a livello mondiale è, probabilmente, l'International Collegiate Programming Contest (ICPC), dedicato a studenti di livello universitario. Nata ufficialmente nel 1977, ben prima delle IOI, ha le sue origini in gare svoltesi nella Texas A&M University già nel 1970. L'ICPC è patrocinato dall'ACM, l'Association for Computing Machinery e sponsorizzata da IBM. Attualmente partecipano circa duemila università, suddivise in eliminatorie regionali; le università italiane partecipano alle SWERC (South Western European Regional Contest) e solo chi vince (in alcuni anni anche chi arriva secondo) partecipa, poi, alla finale mondiale delle ICPC; per l'Italia l'unica presenza alla finale è stata nel 2018 con la squadra della Scuola Normale Superiore di Pisa.

5. Per una analisi approfondita dei primi venti anni delle IOI si rimanda a: Verhoeff, Tom. 2009. “20 Years of IOI Competition Tasks.” *Olympiad in Informatics*, Vol. 3, 149-166.

6. <https://ioinformatics.org/page/ioi-journal/>

Se ci focalizziamo su competizioni per i ragazzi delle scuole superiori, il panorama è piuttosto vasto: dalla nascita delle IOI, negli anni, sono state organizzate diverse gare di programmazione internazionali su scala geografica più o meno limitata. Tra le tante, ci limitiamo a segnalare solo quelle a cui ha partecipato, almeno in qualche edizione, una squadra italiana: in tutti i casi si tratta di gare che coinvolgono nazioni europee.

La somiglianza di queste competizioni con le IOI è intenzionale: si tratta di gare di dimensioni ridotte che comunque ne rispecchiano, in buona misura, la struttura allo scopo di consentire agli studenti di fare una prima esperienza con una gara internazionale.

Central European Olympiad in Informatics (CEOI)

Le CEOI sono tra le più antiche competizioni di questo tipo; la prima edizione si è tenuta nel 1994 in Romania – la nazione che le ha fondate – e ha coinvolto otto squadre dell'Europa centrale. L'Italia, dopo una prima esperienza nel 2001, partecipa regolarmente dal 2017. Il sito <http://ceoi.inf.elte.hu/history/> riporta informazioni su tutte le edizioni delle CEOI.

Romanian Master of Informatics (RMI)

A differenza delle CEOI, ospitate ogni anno da una nazione differente, questa competizione si svolge sempre in Romania, a Bucarest. La modalità di partecipazione è atipica: sono presenti sia squadre in rappresentanza di città diverse della Romania, della Bulgaria e dell'Ucraina, sia squadre che rappresentano intere nazioni come Italia e Moldavia ma anche le stesse Romania, Bulgaria e Ucraina. Maggiori informazioni sono reperibili nel sito ufficiale <https://rmi.lbi.ro/> L'Italia partecipa regolarmente a questa competizione dal 2017.

Balkan Olympiad in Informatics (BOI)

Sono una gara nata nel 2022, sempre in Romania; l'Italia ha partecipato a entrambe le edizioni svoltesi finora, ovvero nel 2022 a Bucarest e nel 2023 a Maribor in Slovenia. Una curiosità: le BOI condividono l'acronimo con le Baltic Olympiads in Informatics, le Olimpiadi del Mar Baltico, giunte nel 2024 alla trentesima edizione. L'Italia, per motivi geografici, non è mai stata invitata a queste ultime.

Western European Olympiad in Informatics (WEOI)

Le WEOI sono la gara più giovane: la prima edizione si è svolta nel 2023 in Olanda e ha visto la partecipazione, oltre dei padroni di casa, di studenti in rappresentanza di Belgio, Francia, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Portogallo, Spagna e Svizzera. All'indirizzo <https://weoi.org/> si trova il sito ufficiale della competizione.

European Girls' Olympiad in Informatics (EGOI)

Chiudiamo questa breve rassegna di competizioni con la EGOI, una gara dedicata alle ragazze, nata nel 2021 in Svizzera; l'Italia ha partecipato a tutte le edizioni. Le EGOI hanno l'obiettivo di incentivare la presenza di ragazze a questa tipologia di

eventi: a livello mondiale, purtroppo, si assiste a una scarsa partecipazione femminile ad attività STEM, in generale, e alle IOI, in particolare. In tutte le edizioni tra il 1998 e il 2006, ad esempio, la percentuale di ragazze è stata inferiore al 2% dei partecipanti delle IOI⁷. Una sola ragazza, Giada Franz, ha partecipato alle IOI per l'Italia, nel 2012.

Altre competizioni nazionali

Anche nel contesto nazionale sono nate, negli anni, diverse competizioni; ci limitiamo a citarne tre, direttamente collegate alle Olimpiadi.

Le “Olimpiadi a squadre” nascono nel 2009 su iniziativa di Giorgeliana Carletto, docente in un istituto tecnico in Emilia-Romagna. L'idea di organizzare una gara in cui i ragazzi potevano collaborare alla risoluzione dei problemi le è venuta durante un incontro di preparazione per le Olimpiadi di Informatica organizzato per i docenti, chiacchierando con Giulio Angiani, anche lui docente in Emilia-Romagna.

Alla prima edizione hanno partecipato solo scuole dell'Emilia-Romagna ma dalle successive è cresciuto il numero di regioni partecipanti. La formula attuale prevede una prima fase online (in cui le squadre di studenti gareggiano nelle proprie scuole sotto la supervisione dei propri docenti) e una finale nazionale che si tiene all'I.I.S. Aldini Valeriani di Bologna. All'edizione 2023-24 hanno partecipato circa quattromila studenti, divisi in 824 squadre.

Il CINI (si veda il contributo sulla Storia del CINI in questo volume) organizza dal 2020-21 le “Olimpiadi Italiane di Cybersecurity” (OliCyber), un'iniziativa volta a sensibilizzare gli studenti relativamente alle problematiche della Cybersecurity. Le OliCyber hanno un'organizzazione che ricalca quella delle Olimpiadi di Informatica e non è un caso: tra i responsabili tecnico-scientifici vi è Gaspare Ferraro che era tra gli studenti che hanno rappresentato l'Italia alle IOI 2014 e successivamente ha fatto parte, per diversi anni, della squadra di tutor a supporto delle Olimpiadi.

I “Giochi di Fibonacci” sono una competizione dedicata agli studenti delle scuole primarie e delle scuole secondarie di primo grado (ovvero, le scuole che un tempo venivano chiamate, rispettivamente, elementari e medie). L'obiettivo di questa competizione è avvicinare i ragazzi più giovani all'informatica, usando strumenti adatti, ad esempio, linguaggi di programmazione visuali a blocchi come Scratch o Blockly. Promotori dell'iniziativa, supportata dal Comitato per le Olimpiadi di Informatica, sono stati Giorgio Audrito, Madalina Ciobanu e Luigi Laura. Alla prima edizione, nel 2022-23, hanno partecipato più di undicimila studenti, di cui quattromila di scuola primaria e settemila di scuola secondaria di primo grado.

7. Maggiolo, Stefano. 2015. “An Update on the Female Presence at the IOI.” *Olympiads in Informatics Journal*, vol. 9.

Fuga di cervelli: gli ex olimpici in giro per il mondo

In questi anni abbiamo visto parecchi ragazzi crescere; li abbiamo visti partecipare alle gare e poi, mentre studiavano all'università, hanno collaborato con le Olimpiadi in qualità di tutor; parecchi hanno fatto un dottorato, proseguendo comunque con il loro impegno in quest'ambito – alcuni di essi, anche dopo aver completato i loro studi e aver trovato lavoro.

Tra di loro citiamo nuovamente Giorgio Audrito, promotore e forza motrice dei Giochi di Fibonacci, che dal 2020 è il responsabile tecnico scientifico di tutte le Olimpiadi Italiane di Informatica.

Un consistente numero di ex olimpici ha deciso di lavorare all'estero; i primi, per anzianità, sono Luca Foschini e Alessio Signorini che sono diventati famosi – come si legge anche in un articolo del Corriere della Sera⁸ – per aver fondato una società, Evidation Health, che ha superato il valore di un miliardo di dollari, diventando, come si dice nel settore, un “unicorno”. Come raccontano, anche proprio all'inizio dell'articolo, Luca e Alessio si sono conosciuti alle Olimpiadi di Informatica e sono diventati subito amici. Hanno studiato entrambi a Pisa e poi, dopo esperienze lavorative diverse (Luca a Google e al Cern, Alessio a un motore di ricerca ormai non più attivo, “ask.com”) si sono ritrovati e hanno deciso di aprire una loro attività dedicata alla salute delle persone.

Oltre ad Alessio e Luca, sono in tanti gli ex olimpici che si sono trasferiti all'estero.

Menzioniamo in ordine sparso e senza nessuna pretesa di esaustività il ruolo ricoperto attualmente da alcuni di essi: Giuseppe Ottaviano lavora per Meta (ex Facebook); Alessandro Dovis, Stefano Maggiolo, Andrea Ciprietti, Nicolò Mazzuccato, Alessio Orlandi, Marco Ribero e Luca Versari lavorano a Google, a Londra i primi due e a Zurigo gli altri. Giovanni Campagna è a San Francisco, assunto da Bardeen, mentre Gabriele Farina è *assistant professor* al MIT, dopo aver lavorato per un anno come *research scientist* a Meta. Al MIT troviamo anche Giada Franz, al momento come *instructor*; Alice Cortinovis è *assistant professor* a Stanford, dove Matilde Padovano sta completando un dottorato in Machine Learning, mentre Federico Glaudo è *postdoctoral research associate* a Princeton. MIT, Stanford e Princeton: accademicamente non ci possiamo lamentare e anche sul fronte delle aziende, tra Google, Meta, Microsoft (dove ha lavorato in passato Ottaviano), DeepMind (*internship* di Matilde Padovano), Twitter (Emanuele Rossi, che adesso lavora per VantAI) possiamo dire che gli ex olimpici non se la cavano male.

A questo punto è naturale domandarsi perché, nostro malgrado, le Olimpiadi siano tra i principali produttori di “cervelli in fuga”. Questo argomento è stato spesso affrontato con i diretti interessati e anche se alcuni di essi guadagnano molto bene, ci hanno fatto capire che il fattore determinante non è di natura economica: la motivazione principale è legata al poter rivestire un ruolo in linea con le proprie competenze.

La loro sensazione – che troppo spesso corrisponde alla realtà – è che in Italia un ragazzo di ventidue-venticinque anni venga ritenuto troppo giovane e inesperto e quindi non sia ascoltato in ambito lavorativo, mentre all'estero, negli ambiti accademici e aziendali in cui si sono inseriti, dove li troviamo adesso, sia accademici che aziendali,

8. https://www.corriere.it/cronache/21_aprile_24/apps

gli incarichi e le responsabilità vengono attribuiti in base alle competenze e non all'età. Parafrasando il titolo di un film famoso, possiamo dire che, purtroppo, l'Italia “non è un paese per giovani (brillanti)”. Riusciremo a invertire questa tendenza e tenerci i nostri talenti?

RINGRAZIAMENTI

Gli autori vogliono ringraziare tutto lo staff delle Olimpiadi di Informatica che in questi anni hanno collaborato per far crescere, anno dopo anno, tutta la manifestazione.

Questo articolo è dedicato a chi ha iniziato tutto e adesso non è più con noi: Bruno Fadini, Marta Genovè De Vita e Giulio Occhini.

BIBLIOGRAFIA

- Fadini, Bruno, e Roberto Grossi. 2006. “Olimpiadi dell'Informatica.” *Mondo digitale*, 5, n.1 pp. 3-16.
- Halim, Steve, Felix Halim, e Suhendry Effendy. 2020. *Competitive Programming 4: The Lower Bound of Programming Contests in the 2020s (Books 1 and 2)*. Lulu Press.
- Skiena, Steven S., e Miguel A. Revilla. 2003. *Programming Challenges. The Programming Contest Training Manual*. New York: Springer.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-39>

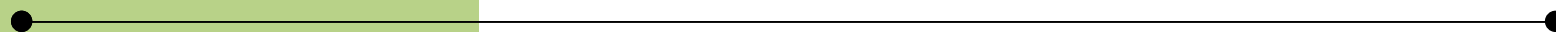


**Informatica
e società**

40

Stefano Ferilli
Luigi Laura

L'Informatica in edicola



Introduzione

Gli ultimi decenni del XX secolo hanno segnato un passaggio cruciale nella storia dell'informatica e della società. Fino ad allora i pochi a conoscenza dell'esistenza del computer non ne avevano mai visto uno. Persino i pochissimi addetti ai lavori normalmente non lavoravano effettivamente su di essi, né sapevano dov'erano: tutto ciò che vedevano era il terminale, poco più di una tastiera per inviare informazioni associata a un monitor per ricevere risposte.

Non solo i computer (mainframe o minicomputer) non potevano essere toccati fisicamente, ma anche tecnicamente non si potevano modificare (ossia, non si poteva cambiare il sistema operativo o il software di sistema); bisognava utilizzarli così com'erano impostati. Solo con i personal computer, controllati da un'unica persona e a sua completa disposizione, sul suo piano di lavoro, si poté iniziare a conoscere la macchina nella sua interezza e a gestirla in tutti i suoi aspetti hardware e software, ad esempio, installando sistemi operativi, compilatori e programmi.

I primi personal computer nascono verso la fine degli anni Settanta e si diffondono a partire dai primissimi anni Ottanta. In Italia, un contributo alla diffusione di questi primi modelli è stato fornito da un attore inaspettato: le edicole; per ironia della sorte un'attività commerciale tipicamente legata alla carta e quindi, per certi versi, la più lontana dall'innovazione tecnologica.

L'edicola ha svolto un ruolo fondamentale proprio nel diffondere l'informatizzazione nella società italiana e nella formazione dei futuri professionisti, un'intera generazione di informatici, tra cui anche gli autori di questo contributo. La scelta delle edicole come strumento elettivo di diffusione delle pubblicazioni informatiche presso il pubblico dipese sicuramente dalla loro distribuzione capillare sul territorio e dal fatto che i primi importatori di home computer erano proprio gli editori "cartacei".

Come vedremo, nelle edicole italiane risultava sfumato il confine fra diffusione ufficiosa e ufficiale del software a causa di un vuoto normativo che consentiva di restare nella legalità pur applicando ad esso delle modifiche marginali, principalmente allo scopo di "localizzare" i testi.

La vendita di riviste che contenevano cassette audio con copie di giochi adattati in italiano dai giovani hacker sottopagati reclutati dalle case editrici è stata definita la prima forma di pirateria informatica, fenomeno tipico degli anni Ottanta.

Ma, come dicevamo, non si può parlare di vera pirateria dal momento che non esisteva, all'epoca, una legge a tutela del software; quello che era protetto legalmente erano i soli contenuti testuali, ossia quelli che poi venivano adattati dall'originale inglese e venivano sostituiti dalle copie tradotte distribuite nelle edicole.

In realtà, il contributo dato dalle edicole (quindi, dall'editoria italiana) è stato più variegato, con un'offerta che ha compreso dei veri e propri corsi di programmazione mascherati da enciclopedie – con uscite in fascicoli settimanali – una miriade di riviste che offrivano listati per poter imparare a usare il proprio (personal) computer e anche riviste dedicate ai videogiochi che riportavano trucchi per ottenere vite infinite o bonus di vario tipo (che altro non erano che comandi in linguaggio macchina per andare a sovrascrivere in maniera opportuna il contenuto di alcune locazioni di memoria).

Per inquadrare bene questi primi anni Ottanta e il ruolo delle edicole nella diffusione dell'informatica ricordiamo alcuni fatti: i corsi di laurea in Scienza dell'informazione (si veda il contributo di Marco Ferretti nel volume 1), nel 1980 erano stati attivati solo in sei atenei: Pisa (1969), Bari (1969), Torino (1970), Salerno (1971), Udine (1979), Milano (1980).

Ogni anno uscivano circa 70/80 computer di marche diverse, di cui nessuno era compatibile con gli altri; ognuno aveva un suo BASIC che differiva, per istruzioni supportate, non solo tra prodotti di diverse marche ma anche da modello a modello e tra varianti diverse dello stesso modello. Ciò accadeva perché i produttori cercavano di minimizzare i costi comprando componenti solo apparentemente compatibili da fornitori diversi.

In questo scenario, come vedremo la battaglia commerciale tra tutti questi offerenti fu senza dubbio vinta, in Italia, da due modelli distribuiti a partire dal 1982 – l'anno in cui l'Italia vinse i Mondiali di calcio in Spagna – ossia, il Commodore 64 e il Sinclair ZX Spectrum, la cui rivalità è diventata iconica, come anche raccontato nel libro *Commodore 64 vs ZX Spectrum* di Jurij Gianluca Ricotti che consigliamo a chi vuole approfondire, o ricordare, quegli anni. Andiamo con ordine, iniziando dai primi personal computer.

La nascita del personal computer

Il contrasto fra l'informatica "ufficiale/professionale" e quella "domestica/ludica" e il passaggio fra la prima e la seconda, sono descritti in maniera plastica da un aneddoto, riferito da Chuck Peddle (inventore del microprocessore economico). La *National Computer Conference*, tenutasi il 13 giugno 1977 a Dallas, aveva a disposizione l'equivalente di cinque campi da football di spazio in sala per i 300 espositori e attirò 36 000 partecipanti. Normalmente, la conferenza era dominio delle aziende informatiche più grandi, note nell'ambiente come "IBM e i sette nani" (Univac, Burroughs, Scientific Data Systems, Control Data Corporation, General Electric, RCA e Honeywell). Altri partecipanti di rilievo alla mostra comprendevano Memorex, National Semiconductor, Datapoint e Sperry. I primi due piani di questo grande centro congressi erano dedicati agli spazi espositivi di queste grandi aziende. Quell'anno, però, la conferenza introdusse una novità: la "boutique del personal computer". Gli organizzatori organizzarono nel seminterrato una sala esposizioni solo per le aziende di microcomputer, che chiamarono la *Personal Computer Faire*. Peddle, che era lì per vendere il Commodore PET da lui progettato (uno dei primi personal computer industriali della storia), fu sconvolto da ciò che vide:

Tutto il piano sopra di me era vuoto di acquirenti. Tutte le persone dei grandi computer stanno sedute lì a parlare fra loro. Non c'è nessuno nella fottuta sala. Nel frattempo, non si riesce ad entrare nella boutique. Al piano di sotto le persone che dovrebbero essere alla mostra stanno facendo a botte per darmi un assegno così da poter entrare in coda. Fu la campana a morto del grande computer. Se avessi scattato un'istantanea a quella mostra sapresti cosa sarebbe successo all'industria informatica. Io passeggiavo fra i dinosauri mentre loro stavano morendo. Avevano perso lo lancio, e lo slancio si stava costruendo sotto i loro piedi e loro non ne avevano una fottuta idea.



Fig. 1 Il Sinclair ZX Spectrum (1982, commercializzato in Italia dal 1983).

Fig. 2 Il Commodore 64 (1982, commercializzato in Italia dal 1983).

Persino l'IBM, che non credeva nell'informatica personal e ne dileggiava i produttori dovette ricredersi ed entrare in quel mercato.

Per quanto la gran parte delle innovazioni in tal senso, come sempre, venisse da oltreoceano, l'Italia ha svolto un ruolo di primo piano in questa rivoluzione: il primo concetto di personal computer, la Olivetti Programma 101 (come verrà illustrato nella seconda parte) fu concepito, progettato e realizzato in Italia nel 1965; la prima unità del KENBAK-1, primo personal computer interamente elettronico, progettato e realizzato da John Blankenbaker negli Stati Uniti, fu venduta a un italiano¹. Ancora oggi, gli appassionati italiani ricoprono una posizione di primo piano nell'associazionismo, nel recupero, restauro e conservazione di quelle macchine e nella divulgazione delle relative informazioni (si veda il contributo su "Collezioni e musei" di questo volume).

Il Commodore 64 e lo ZX Spectrum

In Italia, i computer che si diffusero di più furono il Commodore C64 e il Sinclair ZX Spectrum. Probabilmente questi modelli ebbero una spinta decisiva rispetto alla concorrenza grazie al loro prezzo basso, considerando anche il cambio dell'epoca della lira rispetto al dollaro e alla sterlina. D'altra parte, questa era la filosofia dei presidenti delle due aziende. Sir Clive Sinclair si era dato come missione, nella vita, l'innovazione nella tecnologia (che si traduceva molto spesso nella miniaturizzazione dei dispositivi) e il contenimento dei prezzi.

Jack Tramiel, della Commodore, aveva coniato i motti "Computer per le masse, non di classe" (*"Computers for the masses, not the classes"*) e "Gli affari sono una guerra" (*"Business is war"*), che concretizzava riducendo i propri margini di guadagno in modo da poter immettere sul mercato prodotti altamente innovativi a prezzi imbattibili, battendo così la concorrenza. Fra gli utenti dei due prodotti si creò una competizione che sfociò in una vera e propria divisione in fazioni, i "commodoriani" e "sinclairisti", con conseguenti prese in giro e vanterie reciproche, ma comunque con una sottaciuta ammirazione gli uni per gli altri. Molto spesso le cassette vendute in edicola dedicavano un lato a ciascuno dei due computer, generando una competizione diretta e il desiderio, per l'utilizzatore, di esplorarli entrambi.

Lo ZX Spectrum aveva un BASIC moderno che comprendeva nativamente comandi grafici ed era molto semplice da programmare grazie alle abbreviazioni che associavano a ciascun tasto della tastiera un intero comando. Proponeva anche dei colori vivaci che esaltavano la grafica dei videogiochi. Poteva collegarsi ai normali registratori a cassette consentendo agli utenti un risparmio sull'acquisto di questa periferica; per coloro che potevano permetterseli, proponeva come periferica di memorizzazione di massa avanzata i "microdrive", sempre a nastro, ma realizzati con un sistema particolare che li rendeva competitivi rispetto ai dischi.

1. Comunicazioni personali di Stefano Ferilli con John Blankenbaker.

Per contro, era molto spartano e richiedeva particolari (e costose) schede di espansione per poter connettere ulteriori periferiche, inclusi i *joystick* necessari per i giochi.

Se il Commodore 64 vendette più esemplari, sicuramente lo ZX Spectrum è stato protagonista di vicende degne di un romanzo di spie. Nei primi anni Ottanta era ancora operativo il Coordinating Committee for Multilateral Export Controls (COCOM) ossia il comitato di coordinamento per il controllo multilaterale sulle esportazioni, un organismo della NATO creato nel 1949 che si occupava di impedire l'esportazione verso il blocco sovietico di tecnologie che avessero un potenziale uso militare.

Si dice che, per aggirare i controlli del COCOM, un diplomatico russo approfittando delle ridotte dimensioni dello Spectrum, ne avesse infilato un esemplare nella sua valigetta (la valigia diplomatica non è soggetta a ispezioni) per poterlo portare in Madre Patria.

In quegli anni, in Unione Sovietica furono costruiti diversi cloni dello Spectrum, a cominciare dall'ucraino L'viv, da cui probabilmente deriva il più famoso, Leningrad², molto diffuso in quel periodo nel blocco sovietico.

Da parte sua, il Commodore 64 aveva due processori dedicati per la grafica (il VIC-II) e il suono (il SID, che era un vero e proprio sintetizzatore semiprofessionale a tre canali), che consentivano la realizzazione di videogiochi coinvolgenti e che riproducevano fedelmente le versioni da sala giochi. Ancora oggi si ascoltano le opere che maestri della programmazione musicale hanno realizzato per il SID, come colonna sonora di videogiochi o anche come creazioni musicali a sé stanti.

Al contrario, il BASIC del C64 era arretrato e senza comandi nativi per la grafica. La ragione si lega a un divertente aneddoto connesso al “peggiore affare della vita di Bill Gates”: Gates aveva realizzato il primo interprete BASIC per microcomputer basato sul processore Intel 8080, (diffusissimo fra gli utenti dei primi personal computer e a sua volta connesso a una storia secondo cui gli appassionati realizzavano e facevano girare copie illegali del nastro perforato su cui era memorizzato, quindi Bill Gates scrisse una lettera aperta per chiedere il compenso che gli spettava a tutti coloro che lo usavano); un dipendente della sua azienda, la Micro-Soft (all'epoca scritta col trattino) ne fece un *porting* per il microprocessore 6502 della MOS Technology. La Commodore si mostrò interessata e quando la Micro-Soft chiese un pagamento a licenza di uno o due dollari per ogni computer, Jack Tramiel rispose: “Sono sposato, ho già una moglie”³.

La Micro-Soft si dovette accontentare di una cifra una tantum che ancora oggi è avvolta nel mistero, ma che qualcuno ipotizza essere di soli ventimila dollari. Avuta la licenza illimitata, Tramiel mise quell'interprete su tutti i suoi modelli per oltre dieci anni, anche quando era ormai divenuto obsoleto. Il solo C64 vendette, secondo alcune fonti, oltre 20 milioni di pezzi. Si racconta che Gates si avvicinasse furtivamente ai nuovi modelli della Commodore quando venivano presentati alle fiere informatiche, per vedere se montassero ancora quel BASIC che consentiva alla Commodore di fare soldi “alle sue spalle”.

Il C64 disponeva, oltre al lettore di cassette (che richiedeva una connessione proprietaria e non poteva essere un normale registratore musicale), di un lettore di dischetti

2. Fonte: Retro Magazine 01, Sprea Editori, dicembre 2023.

3. La frase è riportata dal figlio di Jack Tramiel nel documentario “8-bit generation: The Commodore Wars” (2016).

flessibili da 5 pollici e ¼ che consentiva di realizzare giochi complessi perché gestiti con una strategia di “memoria virtuale”; la memoria RAM del computer conteneva solo lo stretto necessario all'esecuzione attuale del gioco, e poi caricava e scaricava da/sul disco le altre parti. I dischetti costavano molto più delle cassette, ma il vero ostacolo era il costo del lettore, che era simile a quello del C64 stesso. A dispetto del prezzo, furono in molti a comprarlo, e anche questo fu un elemento determinante a far prendere confidenza ai ragazzi con questo tipo di supporto, che era quello usato anche nei personal computer professionali.

Facendo leva sulla possibilità di copiare e distribuire i programmi sulle normali audiocassette (e poi, per i possessori di C64, anche su dischetti), si creò un enorme mercato, sia ufficioso (direttamente fra i possessori dei computer che si scambiavano i programmi) sia ufficiale.

In Fig. 3 mostriamo un estratto delle pagine di Guidacomputer, il listino prezzi riportato in ogni numero della rivista MC Microcomputer. L'estratto mostra i prezzi esposti dal numero 20 di MC, di giugno 1983, che aveva in copertina lo ZX Spectrum. Due mesi prima, nel numero 18, l'onore della copertina era spettato al Commodore 64.

Nel listino vediamo i prezzi del Commodore 64 (825 000 lire più IVA) e dello ZX Spectrum con 48k di RAM (495 000 lire più IVA), che costava poco più del Commodore VIC-20. Per confronto, mostriamo anche i prezzi dell'Olivetti M20, che partiva da più di cinque milioni di lire (più IVA). Facile intuire il motivo del successo commerciale, per il mercato domestico, dei Commodore e dei Sinclair; per avere un termine di paragone, il prezzo di listino nel 1982 della *console* Atari, era di 395 000 lire (IVA inclusa); per molti genitori dell'epoca la scelta naturale fu quella di regalare ai figli un computer, con la speranza (spesso vana) che fosse usato anche per scopi diversi dai videogiochi.

Le prime riviste di informatica

Negli anni Ottanta e Novanta in edicola si trovavano, volendo richiamare il titolo del contributo, riviste specializzate su alcune marche o modelli (ad es. Input e Il Mio Computer) e altre, più generiche (ad es. BASIC e Bytes) che coprivano l'intero settore. Recensivano e spiegavano le caratteristiche tecniche di computer, periferiche e programmi; facevano pubblicità a produttori e rivenditori di hardware e software; spiegavano argomenti tecnici, come l'architettura e i linguaggi di programmazione e come realizzare accessori.

Si potrebbero definire riviste interattive, perché il lettore non trovava solo articoli tecnici e recensioni, ma anche listati di programmi da digitare. Questo fu un elemento fondamentale per far avvicinare i ragazzi dell'epoca agli aspetti della programmazione che, a sua volta, era una finestra sull'architettura dei computer. Quei computer, infatti, a differenza di quelli odierni, nei quali la distanza fra la macchina reale e l'interfaccia che si presenta all'accensione è enorme, consentivano al programmatore di vedere e usare direttamente gli aspetti dell'hardware e, quindi, ne richiedevano una certa conoscenza.

Questo metodo di diffusione dei programmi era molto spartano: la qualità della stampa (spesso riproduzioni di listati stampati direttamente al computer con le stam-

COMMODORE (U.S.A.)	
Commodore Italiana srl - Via Conservatorio, 22 - 20122 Milano	
CBM64 CPU 64K RAM	825.000+IVA
1541 DRIVE	680.000+IVA
1525 Stampante ad aghi	550.000+IVA
Interfaccia IEEE P-2	175.000+IVA
VIC 20	423.000+IVA
4016	1.750.000+IVA
4032	2.190.000+IVA
8032 - SK tastiera separata video orientabile	2.700.000+IVA
8096 - SK	3.350.000+IVA
9000 Super-PET 134 K	3.400.000+IVA
2031 unità 171 K Single Drive	1.065.000+IVA
4040 unità 343 K Dual Drive	2.190.000+IVA
9050 unità 950 K Dual Drive	2.825.000+IVA
8250 unità 2 M Dual Drive	3.450.000+IVA
9060 unità 5 M Hard Disk	4.950.000+IVA
9090 unità 7.5 M Hard Disk	6.100.000+IVA
4022 stampante ad aghi	1.095.000+IVA
8023 stampante ad aghi	1.855.000+IVA
CBM 6400 Stampante a margherita	2.950.000+IVA
C2N registratore a cassette	120.000+IVA
8010 accoppiatore acustico	595.000+IVA
9075 Plotter	3.950.000+IVA
B-1 64 K Board (con sistema operativo LOS-96)	760.000+IVA
B-2 CP/Maker (con 64 K RAM + CP/M 2.2)	1.450.000+IVA
1515/1525 stampante	550.000+IVA
1530 registratore a cassette	120.000+IVA
1540 Single Floppy	680.000+IVA
1020 Exp. Module	295.000+IVA
1210 espansione 3 K RAM	66.000+IVA
1110 espansione 8 K RAM	98.000+IVA
1111 espansione 16 K RAM	172.000+IVA
1211 M 3 K Super Exp.	75.000+IVA
1112 IEEE Interface	118.000+IVA
1212 Programmers Aid	47.500+IVA
1213 Mach. Language Monitor	47.500+IVA
1311 Joy Stick	13.500+IVA
1312 Paddle	22.500+IVA
4011 VIC-Rol (per controllo Rolie)	95.000+IVA
1900 Cartuccia ROM	41.000+IVA
2011 VIC-STAT cartuccia	95.000+IVA
2012 VIC-GRAPH cartuccia	95.000+IVA
2013 VIC-FORTH linguaggio	95.000+IVA

OLIVETTI (Italia)	
Olivetti S.p.A. - Ivrea	
M20 ST versione monofloppy	5.200.000+IVA
M20 ST versione bifloppy + esp. RAM 32K + stampante PR1450	8.005.000+IVA
Software di base esteso	575.000+IVA
SINCLAIR (Gran Bretagna)	
Robot Computer - G.B.C. Italiana S.p.A.	
Viale Matteotti, 66 - 20092 Cinisello Balsamo (Milano)	
ZX 81	145.000+IVA
ZX 81 con aim. 0.7 A	165.000+IVA
Espansione RAM 16 K	131.000+IVA
Espansione RAM 32 K	199.000+IVA
Espansione RAM 64 K	299.000+IVA
Interfaccia per registratore	41.000+IVA
Interfaccia per monitor	41.000+IVA
Espansione grafica hi-res	239.000+IVA
Interfaccia Centronics	150.000+IVA
DCP-A convertitore A/D	85.000+IVA
DCP-C modulo B relè	130.000+IVA
DCP-P 4K RAM + interf. DCP-A e DCP-C	160.000+IVA
DCP-S modulo vocale	220.000+IVA
ROM per modulo vocale	70.000+IVA
ZX Spectrum 16 K	360.000+IVA
ZX Spectrum 48 K	495.000+IVA

Fig. 3 Un listino prezzi del 1983, tratto da MC Microcomputer n. 20, giugno 1983. Oltre a Commodore e Sinclair abbiamo selezionato, per confronto, anche Olivetti.

panti dell'epoca, ad aghi o a margherita) era talmente bassa da generare errate interpretazioni ed errori – quando gli errori non erano già presenti nel listato stesso.

Non c'erano *debugger*, per cui la correzione era, a volte, un'impresa titanica, specialmente nei programmi più lunghi; inoltre, alcuni modelli, come i Commodore, prevedevano l'inserimento di caratteri speciali che venivano visualizzati nei listati come simboli grafici e richiedevano un apposito studio per essere decodificati.

Anche il salvataggio dei programmi inseriti contribuiva alla formazione tecnica delle giovani leve perché richiedeva la conoscenza di alcuni piccoli segreti della tecnologia, come l'*azimut* (il posizionamento della testina di lettura/scrittura del registratore sul nastro, che poteva avere effetti determinanti sul corretto funzionamento della periferica).

Il passo dalle riviste solo stampate alle riviste con allegati i supporti magnetici con i programmi pronti da caricare fu breve. In realtà, in molti casi la parte cartacea si riduceva a una scarna brochure con scopi più che altro pubblicitari, perché quello che l'acquirente desiderava erano direttamente i programmi, che rendevano il computer uno strumento vivo, sempre nuovo e sempre mutevole e sorprendente.

Al costo di poche migliaia di lire ci si poteva procurare (mensilmente per chi era fedele a una sola pubblicazione o con frequenza maggiore se si avevano le risorse economiche per spaziare fra più testate) decine di programmi, soprattutto di giochi, che spesso erano riedizioni di titoli che in originale sarebbero costati svariate decine di migliaia di lire.

Il supporto principe, soprattutto nei primi tempi, furono le cassette, che avevano vari vantaggi. Primo fra tutti, potevano accogliere su uno stesso supporto programmi destinati a modelli diversi, della stessa marca o anche di marche diverse, perché tutte le marche e tutti i modelli prevedevano come periferica il lettore di nastri (mentre non tutti avevano dei lettori di dischetti). Inoltre, come già evidenziato, non solo le cassette erano più economiche dei dischi, ma il lettore di dischetti, quando disponibile, costava molto più di un lettore di nastri (per i modelli Commodore, nel listino riportato in Fig. 3 si passava da 120 000 Lire a 680 000 Lire, in entrambi i casi più IVA).

Per far entrare più programmi in una cassetta, furono sviluppati anche dei programmi, i Turbo Loader, che comprimevano il codice. In tal caso bisognava caricare prima l'interprete (compressore/decompressore) e poi il programma vero e proprio. A questo proposito, citiamo un simpatico aneddoto⁴, riportato in varie interviste: nel 1985 le cassette delle riviste editate dalla SIPE iniziarono a usare un loader chiamato Biturbo; il nome era stato deciso dai programmatori come bonaria presa in giro all'editore che, con i proventi, aveva comprato una Maserati Biturbo. D'altronde, si stima che solo nel 1986 la SIPE abbia venduto un milione di riviste con cassetta, a un prezzo che oscillava tra le 8 000 e le 12 000 lire a rivista.

In Fig. 4 mostriamo la copertina del primo numero di Special Program, di maggio 1984, insieme alla pagina con l'elenco dei giochi presenti: Special Program aveva, infatti, una cassetta con programmi per il Commodore 64 da un lato e per lo ZX Spectrum 48k dall'altro ed era la "sorella maggiore" della rivista Program partita due mesi prima, in cui i due lati della cassetta erano dedicati, rispettivamente, al Commodore Vic 20 e allo ZX Spectrum a 16k, le versioni più economiche di Commodore e Sinclair.

4. Fonte: Retro Magazine 01, Sprea Editori, dicembre 2023.

Le immagini della Fig. 4 sono prese dal sito www.edicola8bit.com che è dedicato proprio al recupero e alla conservazione delle riviste con cassette allegate; ad aprile 2024 sul sito sono disponibili: 31 592 giochi e 165 collane (3 195 cassette magnetiche) per i sistemi 8-bit di Commodore 64, VIC-20, C16, Spectrum, MSX. In tutto ci sono 2 426 riviste in formato PDF da scaricare. Questi numeri, riferiti alle sole pubblicazioni degli anni Ottanta, rendono l'idea della massiccia diffusione sul territorio italiano di queste riviste.

Una menzione particolare merita la creatività che negli anni Settanta e Ottanta veniva espressa nelle opere da edicola, sia sulle copertine che all'interno, in particolare nelle pubblicità. La creatività grafica coinvolgeva veri e propri artisti, che cercavano di rendere attraente l'opera sia esternamente, per convincere le persone ad acquistarla, che internamente, per alleviare il tedio di pagine e pagine di codice o di spiegazioni tecniche. A volte una grafica in alcuni casi davvero primitiva veniva vista come un gioiello di computer grafica. Nella comunicazione pubblicitaria si impiegava anche la creatività intellettuale utile a rendere attraenti gli elementi tecnici, con immagini attentamente studiate e con il coinvolgimento di personaggi famosissimi, che poi diventavano i simboli delle varie aziende (la Commodore per il VIC-20 ha usato William Shatner, il Capitano Kirk di Star Trek). A volte si ricorreva a messaggi subliminali, come la pubblicità "Think Fast" della Olivetti Programma 101 che richiamava il motto "Think" della IBM ma con l'idea di un miglioramento e anche la presenza di un cane con la bombetta nella pubblicità dell'Olivetti M24, mostrata in Fig. 5; così si richiamava la fedeltà all'IBM; infatti, l'M24 fu il primo computer 100% IBM compatibile e la bombetta richiamava la figura di Charlot che, all'epoca, l'IBM aveva scelto per le proprie pubblicità.

Le cassette

Le cassette erano un supporto ben noto a tutti; in quel periodo erano l'alternativa comoda e portatile ai dischi in vinile, e consentivano anche di registrare in autonomia brani e suoni. Tutti avevano esperienza di come si usassero, sia in riproduzione che in registrazione, e sui computer si usavano esattamente la stessa tecnologia e le stesse procedure⁵.

Anche i registratori erano gli stessi: se alcuni produttori (come la Commodore) avevano previsto dei connettori proprietari per collegare i registratori ai propri computer (e a volte diversi connettori per diversi modelli di computer), il che aveva dato vita alla produzione di modelli dedicati, altri (come la Sinclair) richiedevano normalissimi registratori e connessioni standard, sempre nell'ottica del massimo risparmio per gli utenti. Veniva dunque spontaneo a tutti pensare che le cose in informatica fossero facili come in musica, ma si era destinati ad avere amare delusioni. La registrazione di dati (e programmi) sotto forma di modulazione audio destinata ai computer è estremamente

5. Dal punto di vista tecnico, una musicassetta consente di memorizzare lungo il nastro quattro tracce audio (due - i canali dello stereo - per ciascun verso in cui si inserisce la cassetta). La testina di riproduzione e/o registrazione contiene un magnete che agisce su queste tracce: nella registrazione viene creata la traccia, che per essere riletta correttamente in riproduzione richiede che la testina sia posizionata alla stessa altezza del nastro - sia allineata.

più delicata di quella di suoni destinata agli esseri umani, perché per un computer anche un minuscolo rumore o un'impercettibile modifica del suono determina il fallimento di tutto il caricamento.

Un primo problema era dovuto alla conformazione stessa del supporto. Cassette di durata maggiore avrebbero richiesto nastri più lunghi, il cui peso avrebbe affaticato il motorino dei registratori. Per ovviare a questo problema, si sarebbero potuti usare nastri più sottili, che però sarebbero stati meno resistenti e avrebbero avuto la tendenza ad allungarsi col tempo a causa della continua forza di trazione. Un allungamento crea una distorsione del suono che, nel caso dei computer, può finire col corrompere i dati.

Si era allora combattuti fra il desiderio di accumulare quanti più file possibile su uno stesso nastro e il rischio di perderli. La tipica durata dei nastri dedicati per computer era fra i 10 e i 30 minuti, a differenza dei 45-120 per i nastri destinati a registrare suoni.

Altri problemi potevano venire dalle impostazioni del registratore. Vari fattori potevano influire su questo aspetto, fra cui il volume del segnale (il cosiddetto guadagno) e l'allineamento delle testine. Spesso bisognava impegnarsi in estenuanti sedute per cercare la corretta impostazione di tutti i parametri. Nel caso del volume, era fondamentale segnare sulla manopola la posizione individuata, o ancora meglio bloccarla (a costo di non poter più usare lo stesso registratore per ascoltare la musica) per risparmiare tempo nella successiva sessione di lavoro. Ma la cosa più complessa da gestire era senza dubbio l'*azimut*, ossia l'allineamento della testina alle tracce audio presenti sul nastro magnetico: qualcosa di cui probabilmente nessuno dei ragazzi che si avvicinavano ai computer aveva mai sentito parlare. Ma anche questo faceva parte degli stimoli a sperimentare e a prendere confidenza con vari aspetti della tecnologia, che a sua volta, ha contribuito alle doti di apertura mentale e di problem solving così spiccate in chi appartiene a quella generazione. Poteva capitare che molte, se non tutte, le cassette acquistate o registrate da altre persone non fossero leggibili, mentre il registratore funzionava alla perfezione sulle cassette registrate al suo interno. Indice tipico del fatto che il proprio *azimut* non era tarato correttamente. L'*azimut* si poteva regolare con un cacciavite, agendo su una piccola vite accessibile da un minuscolo foro nel corpo del registratore. Esistevano addirittura software appositi per guidare la regolazione dell'*azimut*. Salvo poi accorgersi che si potevano finalmente leggere le cassette acquistate ma non erano più leggibili le cassette registrate personalmente in precedenza!

Le enciclopedie di informatica

Il dominio delle edicole raggiunse anche le pubblicazioni più importanti ossia le enciclopedie. Venivano vendute in fascicoli (sovente, di cadenza settimanale) ed erano ingegnosamente organizzate in modo che ogni fascicolo fosse fine a sé stesso, in modo da dare soddisfazione al lettore, ma anche aperto, con argomenti che si prestavano a estensioni e completamenti nei fascicoli seguenti. Input, edita in Italia dalla De Agostini, trattava dei microcomputer più diffusi dell'epoca e aveva diverse sezioni (giochi, BASIC, linguaggio macchina ecc.), insegnando i vari concetti tramite listati frammentati in tanti pezzi. Analoga era Il Mio Computer, sempre della De Agostini, di cui mostriamo alcuni fascicoli in



SULLA CASSETTA

CBM 64	LATO A	SPECTRUM	LATO B
1	CAMELLI I «due gobbe» da distruggere	1	HAMBURGER Sale e pepe per le frittelle
2	CORSA D'AUTO Piloti da rally e campioni F 1	2	CORSA D'AUTO Piloti da rally e campioni F 1
3	FUGA!! La M gigante che schiaccia	3	FUGA!! La M gigante che schiaccia
4	SCI D'ACQUA Corsa sul mare con gli squali	4	SCI D'ACQUA Corsa sul mare con gli squali
5	ATTACCO F 104 Bombe e razzi sulla cittadina	5	SPYDERS Troppi ragni per un uomo solo

5

Fig. 4 La copertina di Special Program 1 (maggio 1984) e la pagina con l'elenco dei giochi disponibili sulla cassetta allegata).

Fig. 5. Della Jackson era invece Bytes, con un taglio sempre vario ma più professionale (linguaggi più tecnici, architettura dei computer, progettazione dei programmi ecc.) e senza listati. La Curcio pubblicò BASIC, che riportava dei listati, anche se non specifici per un computer particolare. Su YouTube è possibile vedere gli spot pubblicitari di queste enciclopedie andati in onda nei primi negli anni Ottanta, sui principali canali televisivi⁶; particolarmente divertente, con gli occhi di oggi, lo spot di BASIC che inizia con un ragazzo che tocca un enorme monolite nero, un omaggio al film *2001 Odissea nello spazio*.

Gli anni Novanta e dopo

A partire dalla seconda metà degli anni Ottanta, i cambiamenti tecnologici si ripercuotono sulle edicole. Le nuove generazioni di computer a 16 bit, con il Commodore Amiga in prima fila, utilizzano il floppy disk da 3,5 pollici come supporto, lo stesso usato dall'Apple Macintosh – il primo computer con un'interfaccia grafica a finestre – e poi dai compatibili IBM con sistema operativo DOS prima e Windows in seguito. Da un lato, per le case editrici il floppy è più complesso da gestire rispetto alle cassette; dall'altro, si verificano sporadici ma sempre più frequenti casi di interventi delle autorità contro la pirateria (come mostrato nel trafiletto riportato in Fig. 7). Nel 1985 fu creata la Assoft (Associazione Italiana per la tutela del software), nel 1987 la Corte di Cassazione si pronunciò in favore della tutela giuridica del software in quanto opera dell'ingegno; infine, nel 1991 la direttiva europea 91/250/CEE relativa alla tutela giuridica dei programmi per elaboratore sanciva la data del 31 dicembre 1992 come termine ultimo per essere recepita in tutti gli Stati membri.

A questo punto, il fenomeno della pirateria da edicola praticamente scompare, e le riviste di informatica sono costrette a diventare... riviste di informatica! Ovvero, riviste tradizionali con articoli in cui venivano testati computer e accessori e riviste per videogiocatori, con prove e anteprime dei videogiochi per le piattaforme più diffuse, sia *console* che *computer*.

Tra le tante riviste, citiamo alcune delle più famose: MC Microcomputer, nata nel 1981 e chiusa nel 2001; PC professionale, fondata nel 1991 e tuttora attiva. Per i videogiochi le più popolari sono state Zzap!⁷, nata nel 1986 e chiusa nel 1992, e The Games Machine, nota anche come TGM, nata inizialmente come traduzione dell'omonima rivista inglese e tuttora attiva, nonostante una complessa storia editoriale (ha cambiato editore diverse volte negli anni). Tra le ultime riviste citiamo Internet News, nata nel 1995 sotto la direzione di Ernesto Damiani, autore con Angela Miola e Stefano Russo, del contributo "Il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica (CINI)" presente in questo volume. Internet News, il cui ultimo numero è stato distribuito nel

6. Basic, Armando Curcio Editore: <https://youtu.be/9PRsIrkW6kQ> 1983. Il Mio Computer, De Agostini Editore: <https://youtu.be/6JrWfR1ZsH0> 1984. Input, De Agostini Editore: <https://youtu.be/xGLZiH0W0M> 1985

7. Sul sito <https://www.zzap.it/> sono presenti, con l'autorizzazione dell'editore Xenia, le scansioni di tutti i numeri di Zzap!

2005, è stata la prima rivista interamente dedicata a Internet che, ironicamente, è la principale indiziata per la crisi del settore editoriale e, di conseguenza, della crisi delle edicole; secondo alcune stime, le edicole nel 2000 erano circa 40 000, mentre dati di fine 2023⁸ parlano di soli 13 500 punti vendita sul suolo italiano.

Conclusioni

Le riviste e le edicole hanno caratterizzato una fase importante della diffusione dell'informatica in Italia all'inizio degli anni Ottanta. Come abbiamo raccontato se, da un lato, è stato un terreno fertile per la pirateria informatica, dall'altro, ci sono state iniziative sicuramente più nobili, come la pubblicazione di listati di codice e di interi corsi di programmazione mascherati da enciclopedie a fascicoli. Queste iniziative hanno contribuito a formare un'intera generazione di ragazzi.

Se la pirateria ha contribuito a diffondere i computer nelle case, dall'altro ha impedito la nascita delle prime software house, come è avvenuto in altre nazioni e in particolare in Inghilterra. Nel Regno Unito è anche nato il fenomeno dei cosiddetti *bedroom coder* (programmatore da camera da letto): giovani teenager che imparavano a programmare sul proprio personal computer nella loro cameretta, scrivendo principalmente videogiochi che poi rivendevano diventando, in alcuni casi, improvvisamente ricchi.

Tra i *bedroom coder* più famosi ci sono i gemelli Oliver, Andrew e Philip, che hanno iniziato a programmare a soli 13 anni sul loro Sinclair ZX81; a 16 anni hanno venduto il loro primo videogioco e, tra il 1983 e il 1993, hanno sviluppato più di 50 giochi, di cui ben 26 sono stati al primo posto nella classifica dei bestseller nel Regno Unito: complessivamente hanno venduto più di cinque milioni di copie dei loro giochi, e sono noti anche perché col ricavato hanno comprato un'automobile nonostante non avessero l'età per guidarla.

Come anticipato, in Inghilterra, anche grazie alla diffusione di teenager autodidatti, nei primi anni Ottanta sono nate tantissime software house dedicate principalmente allo sviluppo di videogiochi. Citiamo Ultimate Play The Game, fondata nel 1982, che ha dominato la scena dei videogiochi per lo ZX Spectrum creando un filone di giochi noti poi come isometrici (o a prospettiva isometrica) tra cui Sabre Wulf e Knight Lore. E anche la Ocean, nata nel 1982 che divenne famosa per sviluppare – dopo averne acquisito la relativa licenza – giochi tratti da film, tra cui Rambo, RoboCop, Corto Circuito e Cobra. All'apice del successo, veniva contattata direttamente da produttori cinematografici che mandavano la sceneggiatura dei film in lavorazione per far valutare la fattibilità di una trasposizione videoludica.

Sono molti gli analisti che imputano alla pirateria informatica favorita, *in primis*, delle riviste distribuite nelle edicole, l'assenza di aziende di sviluppo software che in Italia sono comparse tardivamente rispetto al Regno Unito.

8. <https://www.unioncamere.gov.it/comunicazione/comunicati-stampa/giornalai-sempre-piu-difficili-da-trovare-perse-2700-edicole-4-anni>

olivetti

**THE PERSONAL COMPUTER
M24**



FRIENDLY & COMPATIBLE



Fig.5 La pubblicità dell'Olivetti M24 - Fonte: Associazione Archivio Storico Olivetti (1984).

Fig. 6 Alcuni fascicoli de Il mio computer, De Agostini (1984).
Fonte: <https://www.historybit.it/il-mio-computer/>

ALL'ATTACCO DEI PIRATI DEL SOFTWARE

Importante provvedimento contro la pirateria del software.

Un pretore di Milano è intervenuto per sospendere la distribuzione di alcuni videogiochi perché risultati essere la copia esatta di programmi originariamente prodotti in Inghilterra dalla Mikro-Gen.

L'iniziativa del pretore è venuta in seguito a un esposto alla magistratura del Gruppo Editoriale Jackson, che ha acquisito i diritti per l'Italia dalla Mikro-Gen per includere i videogiochi nella pubblicazione Oro Soft.

I programmi in questione sono Pyjamarama e Everyone's Wally, che nella versione copiata erano diventati Dreaming e Halfpenny family.

Il pretore, dopo aver verificato il plagio, ha sequestrato la pubblicazione abusiva, ordinando la cancellazione dei nastri contenenti i giochi copiati.

La vicenda comunque è destinata a continuare.

La Jackson, che fa parte dell'Assoft, (associazione che riunisce le aziende produttrici di programmi e che ha il compito di tutelare i loro diritti in assenza di una legge specifica), ha ora intenzione di proseguire nella sua azione e intentare una causa per danni.

Fig. 7 Trafiletto tratto da Super Commodore 5 del maggio 1985; fonte: ready64.org

Bisogna però ricordare che nel mondo anglosassone sono stati compiuti interventi di didattica informatica di grande portata, in particolare il BBC Computer Literacy Project⁹: un progetto della BBC (il servizio pubblico radiotelevisivo del Regno Unito, l'equivalente della nostra RAI) frutto di tre anni di pianificazione culminati nel 1982 con il lancio di una trasmissione televisiva che insegnava la programmazione in BASIC per un computer, il BBC Micro, costruito appositamente per il progetto. La nascita di questo computer è una storia molto famosa in patria, meno nota da noi: fu realizzato dalla Acorn, azienda scelta a dispetto della Sinclair che aveva proposto lo ZX Spectrum, ancora non uscito sul mercato; Sir Clive Sinclair commentò, a tal proposito: “È ovvio anche a un primo sguardo che il progetto dello Spectrum è più elegante; quello che potrebbe non essere altrettanto ovvio è che è anche più potente”.

9. Tutte le puntate del Computer Literacy Project sono disponibili nel sito <https://clp.bbcrewind.co.uk/> dedicato alla preservazione di questo progetto.

Il baronetto rimase molto scottato dalla vicenda e pare che questa, insieme ad altri rancori, abbia scatenato la scazzottata che ebbe nel 1985 in un pub con Chris Curry, progettista della BBC ed ex dipendente Sinclair; la rivalità tra i due è oggetto di un film documentario, *Micro Men*, realizzato proprio dalla BBC nel 2009.

La Acorn aveva pianificato di vendere 12 000 BBC Micro ma ne vendette più di un milione. Ogni scuola del Regno Unito, nel 1983, possedeva uno o più esemplari di questo computer e gli studenti guardavano le repliche delle diverse serie prodotte per il Computer Literacy Program e contemporaneamente, imparavano a programmare sul BBC Micro in classe o a casa. All'interno del progetto sono stati prodotti 146 episodi di 14 serie distinte, di cui diverse dedicate al BBC Micro, a cominciare da *The Computer Programme*.

Le tematiche trattate hanno incluso, con notevole anticipo rispetto ai tempi, Robotica, Intelligenza Artificiale, Computer Graphic, Computer Music e anche Storia dell'Informatica.

Difficile dire, a questo punto, se le cassette pirata da noi siano state un bene, contribuendo alla diffusione dell'informatica, o un male, limitando la potenziale nascita di aziende dedite allo sviluppo di videogiochi.

Gli autori di questo contributo, negli anni Ottanta frequentatori di edicole e orgogliosi possessori, rispettivamente, di un Commodore 64 e di uno ZX Spectrum, non possono non propendere per la prima ipotesi, ma sicuramente è un giudizio di parte.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare Maristella Agosti per aver invitato gli autori a scrivere questo contributo.

BIBLIOGRAFIA

- Bagnall, Brian. 2016. *Sulla cresta... del baratro: la spettacolare ascesa e caduta della Commodore*. Tradotto da Stefano Ferilli. Lulu Press.
- Bagnall, Brian. 2019. *Commodore – un'azienda sulla cresta... del baratro*. Tradotto da Stefano Ferilli. Bari: Apulia Retrocomputing.
- Bagnall, Brian. 2023. *Commodore – gli anni Amiga*. Tradotto da Stefano Ferilli. Bari: Apulia Retrocomputing, 2023.
- Dale, Rodney. 1985. *The Sinclair Story*. Duckworth.
- Danton, Tim. 2021. *The Computers That Made Britain: The Home Computer Revolution of the 1980s*. Cambridge: Raspberry Pi Press.
- Ricotti, Jurij Gianluca. 2023. *Commodore 64 vs Zx Spectrum*. Bologna: Minerva Soluzioni Editoriali.

<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-40>

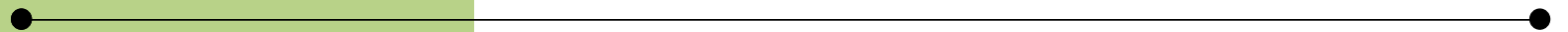


Informatica e società

41

Angelo Raffaele Meo
Mario Scovazzi

**Storia di software,
hardware e
insegnamento
liberi in Italia**



La storia del software libero in Italia

Nell'anno 2003, il ministro Lucio Stanca del secondo governo Berlusconi costituì una commissione col compito di indagare sulle opportunità rappresentate dall'avvento del software libero per la pubblica amministrazione centrale e periferica.

La commissione analizzò numerosi aspetti e implicazioni allo scopo di presentare al ministro un documento ben articolato.

La questione della sicurezza fu oggetto di una prima riflessione favorevole al software libero e contraria al software proprietario.

Infatti, proprio pochi giorni prima del dibattito, era stato segnalato che il codice di un noto prodotto proprietario conteneva una *backdoor* (o porta di servizio) attraverso la quale l'autore del prodotto poteva segretamente accedere alle informazioni riservate delle organizzazioni utilizzatrici. Per evitare questa potenziale violazione della riservatezza dei dati la commissione richiese che l'offerta di qualunque prodotto proprietario contenesse anche il relativo codice sorgente per poter effettuare opportune verifiche in merito all'assenza di *backdoor*.

La proposta centrale presentata dalla commissione riguardava la valutazione comparativa fra software libero e software proprietario dal duplice punto di vista tecnico ed economico.

Da un punto di vista economico, la commissione sottolineò la necessità che un prodotto finalizzato a uno specifico ambito applicativo di una pubblica amministrazione, una volta pagato, fosse utilizzabile anche da altre amministrazioni interessate.

Da un punto di vista tecnico gestionale, si suggerì che gli standard dei documenti e dei dati relativi alle interazioni fra le pubbliche amministrazioni centrali e periferiche fossero in formati aperti. Inoltre, i codici sorgente e la documentazione relativa sarebbero dovuti entrare a far parte di un nuovo grande archivio liberamente consultabile dalle pubbliche amministrazioni.

Dal lavoro della commissione derivarono gli articoli 68 e 69 del Decreto Legislativo 7 marzo 2005 n. 82, denominato "Codice dell'amministrazione digitale" o CAD, dei quali si riportano qui di seguito gli estratti:

Articolo 68

Analisi comparativa delle soluzioni

1. Le pubbliche amministrazioni: acquisiscono, secondo le procedure previste dall'ordinamento, programmi informatici a seguito di una valutazione comparativa di tipo tecnico ed economico tra le seguenti soluzioni disponibili sul mercato:

- a) sviluppo di programmi informatici per conto e a spese dell'amministrazione sulla scorta dei requisiti indicati dalla stessa amministrazione committente;
- b) riuso di programmi informatici sviluppati per conto e a spese della medesima o di altre amministrazioni;
- c) acquisizione di programmi informatici di tipo proprietario mediante ricorso a licenza d'uso;
- d) acquisizione di programmi informatici a codice sorgente aperto;
- e) acquisizione mediante combinazione delle modalità di cui alle lettere da a) a d).

2. Le pubbliche amministrazioni, nella predisposizione o nell'acquisizione dei programmi informatici, adottano soluzioni informatiche che assicurino l'interoperabilità e la cooperazione applicativa secondo quanto previsto dal decreto legislativo 28 febbraio 2005, n. 42, e che consentano la rappresentazione dei dati e documenti in più formati, di cui almeno uno di tipo aperto, salvo che ricorrano peculiari ed eccezionali esigenze.

Articolo 69

Riuso dei programmi informatici

1. Le pubbliche amministrazioni che siano titolari di programmi applicativi realizzati su specifiche indicazioni del committente pubblico hanno obbligo di darli in formato sorgente, completi della documentazione disponibile, in uso gratuito ad altre pubbliche amministrazioni che li richiedano e che intendano adattarli alle proprie esigenze, salvo motivate ragioni.

2. Al fine di favorire il riuso di programmi informatici di proprietà delle pubbliche amministrazioni [...] i programmi appositamente sviluppati per conto e a spesa dell'amministrazione siano facilmente portabili su altre piattaforme [...] ¹.

I testi degli artt. 68 e 69 erano sostanzialmente allineati con le conclusioni della commissione nominata dal ministro Stanca, con un'unica eccezione: la commissione, all'unanimità, aveva richiesto che soltanto standard aperti potessero essere accettati per l'interoperabilità delle pubbliche amministrazioni centrali e periferiche mentre invece l'articolo 69 parlava di "[...] più formati di cui almeno uno aperto [...]".

I rapporti elaborati poco tempo dopo nell'ambito della Commissione Europea – proposti da Nellie Kroes e approvati all'unanimità – diedero ragione alla Commissione Stanca: "La Commissione Europea non può affidarsi a un solo fornitore e non deve accettare standard chiusi [...]. È una questione di democrazia".

Il decreto-legge 82/2005 non produsse i risultati sperati. Nel 2006 il bilancio italiano registrò importazioni di prodotti software proprietari per circa un miliardo di dollari a fronte di un valore trascurabile di esportazioni di prodotti informatici.

Per questa ragione il ministro Nicolais costituì una commissione con il compito di identificare strumenti e procedure di carattere pratico per promuovere lo sviluppo del software libero.

Gli obiettivi della commissione furono definiti dalla senatrice Magnolfi nei termini seguenti:

1. sostenere la diffusione del software libero all'interno delle pubbliche amministrazioni centrali e periferiche;
2. elaborare linee guida normative, supporti tecnici, gruppi di eccellenza;
3. tutelare i responsabili dei sistemi informativi che scegliessero software libero;
4. potenziare le community di software libero;
5. creare sinergie con i ministri dell'industria e della scuola;
6. aggiornare eventualmente il decreto-legge 82/2005, ossia il Codice dell'amministrazione digitale.

1. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2005/05/16/112/so/93/sg/pdf>

La commissione produsse un rapporto di 300 pagine, ma a questo punto scattò la maledizione di “Bill Tutankhamon” che affligge i personaggi pubblici fautori del software libero determinandone la subitanea scomparsa dalla scena politica: il governo cadde e il ministro Nicolais fu sostituito da un nuovo ministro che dichiarò che l’argomento non era di alcun interesse, rifiutò di ricevere i membri della commissione e buttò il rapporto nel cestino.

Il Codice dell’amministrazione digitale fu ritoccato varie volte nell’arco della storia. La “leggina” più favorevole al software libero recitava:

L’acquisto di software in licenza proprietaria sarà possibile soltanto quando la valutazione comparativa abbia dimostrato l’impossibilità di accedere a soluzioni in software libero o già sviluppate dalla pubblica amministrazione ad un prezzo inferiore.

Corse subito ai ripari il Presidente del Consiglio, Mario Monti, che si era già scontrato con Microsoft in ambito comunitario e forse era consapevole della maledizione di Bill Tutankhamon, infatti, la legge 2021/2012 da lui proposta a una prima lettura potrebbe apparire conservativa, una sorta di compromesso tra gli articoli 68 e 69 del Codice dell’amministrazione digitale e le posizioni di Microsoft.

Ad esempio, una specifica importante recitava:

Livello di utilizzo di formati dati e di interfacce di tipo aperto nonché di standard in grado di garantire l’interoperabilità e la cooperazione applicativa.

Ora, per colpa della semantica talvolta ambigua della congiunzione “nonché”, alcuni ritengono che sia legittimo uno standard non libero che garantisca l’interoperabilità e la cooperazione applicativa.

Comunque, a meno di variazioni quasi irrilevanti, gli articoli 68 e 69 del Codice dell’amministrazione digitale che abbiamo sopra riportato sono ancora validi ed è indiscutibile l’obbligo della relazione comparativa che è ignorato dalla grande maggioranza delle delibere della pubblica amministrazione del nostro Paese relative all’acquisizione del software proprietario.

I problemi del bilancio di molte pubbliche amministrazioni, il Codice dell’amministrazione digitale e alcune iniziative pubbliche e private hanno indotto una decina di importanti comuni e alcune regioni a emanare norme e promuovere provvedimenti a favore del software libero.

Certamente, alla cultura dominante nel nostro Paese possiamo attribuire qualche colpa per questo declino quale scotto del privilegio di essere figli dell’Impero Romano, patria del diritto, e di possedere un patrimonio artistico e letterario unico al mondo. È possibile che la cultura dominante, di tipo umanistico, abbia influenzato anche la cultura economica e non si sia fatta sedurre dal fascino logico e funzionale dell’informatica.

Opinioni senza solide basi scientifiche hanno influito su molte scelte di politica industriale che si sono rivelate negative dal punto di vista dello sviluppo dell’informatica nel nostro Paese.

In informatica la prima importante differenza è rappresentata dai costi di progettazione e sviluppo rispetto alla dimensione del prodotto. È ben noto che il prodotto industriale classico, ossia un bene materiale, è caratterizzato da economie di scala rispetto alla dimensione del prodotto. Un aeroplano da 500 passeggeri costa meno di due aeroplani da 250 passeggeri ciascuno; una petroliera da 100 000 tonnellate costa meno di due petroliere da 50 000. La stessa economia di scala si manifesta sulle dimensioni degli apparati produttivi: una fabbrica che produca un milione di autovetture all’anno costa meno di due fabbriche da mezzo milione di autovetture ciascuna.

Viceversa, il costo di produzione di un programma da 10 000 istruzioni è più del doppio rispetto al costo di un programma da 5 000 istruzioni perché al crescere delle dimensioni di un programma cresce il numero dei sottoprogrammi da collegare, si espande il numero delle interconnessioni di questi moduli, aumentano gli elementi che i programmatori devono tenere in considerazione e diventa più complicato gestire il caos nella loro testa e ancor più nel gruppo di progettisti che sta sviluppando il prodotto.

Probabilmente, il costo dello sviluppo di un programma si può quantificare come il quadrato delle sue dimensioni, per cui il prodotto da diecimila istruzioni costa quattro volte il prodotto da cinquemila. E, certamente, il numero dei bug (ossia di errori denominati anche bachi in italiano) cresce ancora più rapidamente, forse con il cubo delle dimensioni, per la difficoltà crescente di collegare correttamente le unità elementari del programma.

Oltre a ciò, il prezzo sul mercato di un bene materiale, ossia di un’unità di prodotto di tipo tradizionale, come un televisore o un’automobile, in virtù delle economie di scala dei processi produttivi e distributivi diminuisce al crescere del numero di oggetti venduti. Tuttavia, questa relazione economica trova un limite nel costo delle materie prime e dell’energia impiegate nella generazione di un’unità di prodotto.

Nell’industria delle anime, i costi fissi, ossia le voci di costo incompressibili quali il floppy disk o il cd rom che ospitavano, fino a pochi anni fa il programma, la carta nel caso dell’industria editoriale o l’energia necessaria per irradiare un programma televisivo, per quanto importanti quando si parla di grandi produzioni, esercitano un peso marginale inferiore sul prezzo finale rispetto a quanto avviene per la produzione dei beni materiali. Di conseguenza, il valore sul mercato di un’anima di un bene immateriale è una funzione rapidamente decrescente del numero di copie vendute (o di telespettatori).

Se lo sviluppo di un prodotto software è costato un milione di euro, il prezzo dell’unità di prodotto deve essere pari o superiore a un milione se ne vendo una copia sola, ma scende all’aumentare del numero di copie vendute.

L’associazione perversa della diseconomia del costo della progettazione e dello sviluppo sulla scala della dimensione del prodotto e dell’accentuata economia di scala rispetto alla dimensione del mercato produce poi la peculiarità più importante del mercato dei prodotti dell’informazione. Per raddoppiare un programma che abbia già raggiunto un certo successo sul mercato, si deve investire quattro volte di più di quanto si era investito nella prima versione, ma per continuare a venderlo allo stesso prezzo si deve poter contare su un mercato quattro volte più grande.

Questo fatto ha molte conseguenze. Ad esempio, nell’arco di un paio di decenni o poco più anni i produttori di software proprietario sono diventati gli uomini più ricchi

della Terra, mentre migliaia di software house in tutto il mondo, e in particolare nel nostro Paese, chiudevano i battenti, oppure rinunciavano a operare nel settore della produzione del software per ricreare comparti di nicchia nell'area dei servizi di installazione o personalizzazione dei prodotti altrui. Gli Stati Uniti hanno portato a casa migliaia di miliardi di dollari con la vendita di prodotti software caratterizzati da un tasso di valore aggiunto pari al 100%, mentre Paesi come il nostro, che pur essendo tra i più industrializzati, non riescono a esportare praticamente nulla in questo comparto. E non parliamo dei Paesi poveri.

Free hardware

Nell'anno 2005 un piccolissimo gruppo di ricercatori e insegnanti di Ivrea decise di sviluppare un microcalcolatore di basso costo orientato prevalentemente alle esigenze didattiche. S'incontravano spesso in un bar della loro città, chiamato Arduino re d'Italia, in onore del sovrano che nel 1001 si era proclamato re d'Italia, anche se le dimensioni del suo regno erano molto piccole. Per ricordare il luogo dei loro incontri e il sovrano di mille anni prima decisero di chiamare Arduino la scheda elettronica che avevano sviluppato.

Poiché quella scheda era stata pensata prevalentemente per applicazioni didattiche, i suoi progettisti decisero di descriverla pubblicamente nei minimi dettagli, dai componenti elementari all'architettura delle loro interconnessioni e agli strumenti per la programmazione e la liberalizzazione delle conoscenze. Nacque così, in Italia, il free hardware o hardware libero.

A quella scheda altre ne seguirono, caratterizzate da funzionalità e costi diversi. Olivetti e Telecom Italia fondarono un istituto chiamato Interaction Design Institute con obiettivi di progettazione e formazione.

La piattaforma Arduino trovò applicazione non soltanto nella scuola ma anche nell'industria, soprattutto nell'area dei sistemi di controllo. Così, oltre alle schede di elaborazione e controllo sono nate schede per l'attuazione di funzionalità di sensori e attuatori.

Anche il software di base per la programmazione delle varie piattaforme Arduino è assolutamente libero e gratuito. Così è sorto un nuovo comparto industriale di dimensioni mondiali, caratterizzato da centinaia di progetti diversi e milioni di pezzi venduti ogni anno.

Open Education

Al concetto e alla logica del software libero è strettamente collegata la cosiddetta Open Education che potremmo tradurre in Scuola Aperta.

Secondo alcuni studiosi la storia della scuola aperta può essere fatta risalire al Medio Evo, quando alcuni monasteri avviarono iniziative gratuite per insegnare a leggere ai cittadini più poveri. Di importanza fondamentale fu poi, ovviamente, l'invenzione della stampa.

L'Open Education moderna nasce poco più di venti anni or sono, con l'esplosione dell'importanza dell'informatica e di Internet, in particolare. Probabilmente, la prima iniziativa forte risale al 2001 per opera del MIT. L'obiettivo di questa iniziativa, chiamata MIT OpenCourseWare (MIT OCW) è rendere disponibile in rete, gratuitamente, tutto il materiale didattico dei corsi sia di livello undergraduate sia graduate. La licenza adottata, proveniente dal mondo del software libero, è Creative Commons Attribution-Non-Commercial-ShareAlike licence.

In sintesi, il nome dell'autore del materiale utilizzato deve essere sempre ricordato; è vietata la vendita del prodotto; è lecito produrre nuovi oggetti derivanti dal materiale acquisito in rete ed è vietato l'uso commerciale del nuovo prodotto.

Il MIT ha reso disponibili migliaia di corsi. Di molti è disponibile il filmato delle lezioni che può essere visualizzato in tempo reale oppure scaricato dal sito per una visualizzazione successiva.

L'esempio del MIT è stato adottato da molte altre università e strutture accademiche nel mondo, per cui si pensa che siano milioni gli uomini che hanno costruito parte delle loro conoscenze sull'Open Education.

Il materiale distribuito – libri di testo, documenti, lezioni, conferenze, Massive Open Online Courseware (MOOC), strumenti didattici vari – costituisce le cosiddette Risorse didattiche aperte (Open Education Resources - OER) secondo la seguente definizione proposta dall'UNESCO:

Le OER sono materiale per l'apprendimento, l'insegnamento e la ricerca, disponibili su qualunque supporto, digitale o meno, che risieda nel pubblico dominio oppure sia stato rilasciato sotto una licenza aperta che permetta l'accesso e l'uso gratuito, nonché l'adattamento e la redistribuzione da parte di altri soggetti con nessuna o limitate restrizioni.

Anche in Italia sono attive alcune iniziative finalizzate alla produzione di OER.

Si ricordano, ad esempio, il progetto RAISAT Nettuno, divenuto nel 2014 Uninettuno University TIV e i tre progetti attuali RAI Cultura, RAI Scuola e RAI Play.

Si ricordano anche l'associazione Open Education Italia che annovera un centinaio di partecipanti; il volume Open Education: OER, MOOC e pratiche didattiche aperte verso l'inclusione digitale educativa di Fabio Nascimbeni; il Manuale dell'e-Learning di Matteo Uggeri.

Nel nostro piccolo, noi del cosiddetto Gruppo Didattico operante presso il Politecnico di Torino, abbiamo sviluppato come supporto al nostro portale FARE per la didattica a distanza (fare.polito.it) un archivio di circa 2 000 OER orientate prevalentemente all'insegnamento dei fondamenti concettuali dell'informatica nelle scuole primarie e secondarie.

Ci scusiamo per questa operazione di marketing giustificata dal fatto che tutto il nostro materiale è assolutamente libero e gratuito, senza alcuna restrizione.

Nuovi percorsi e nuove opportunità

Il trionfo di Trump nelle elezioni statunitensi del 2024 e i successi industriali del suo allevo prediletto, Elon Musk – l'uomo più ricco della terra – hanno inquietanti implicazioni.

Dal punto di vista tecnologico, la storia antica del tradizionale mainframe computer è stata riportata alle sue origini e al dominio assoluto rispetto al nostro piccolo elaboratore, all'invenzione e sviluppo del quale il nostro Paese diede contributi molto importanti. A determinare il nuovo scenario sono stati i recenti progressi della tecnologia microelettronica che hanno consentito la creazione di enormi volumi di dati e la loro elaborazione con algoritmi complessi come quelli dell'intelligenza artificiale.

Se scelte infelici di politica industriale hanno determinato un progressivo ritardo dell'informatica italiana e dell'industria del nostro Paese, il dominio sul mercato dei principali operatori statunitensi come Microsoft e Google e i programmi di sviluppo della coppia Trump-Musk rappresentano un gravissimo pericolo per l'informatica e l'economia dell'intera Europa.

La risposta europea deve partire da una considerazione fondamentale: i prodotti dell'intelligenza artificiale, se basati sugli archivi segreti del cosiddetto apprendimento, sono estremamente pericolosi da molti punti di vista, come la protezione dei dati personali e la possibilità di truffe e malversazioni. Il codice sorgente dei programmi applicativi dell'intelligenza artificiale deve essere universalmente noto o memorizzato in archivi segreti gestiti da autorità pubbliche. Attuali norme come il nostro "Codice dell'Amministrazione Digitale" implicitamente impongono la conoscenza del codice sorgente, ma non sono applicate.

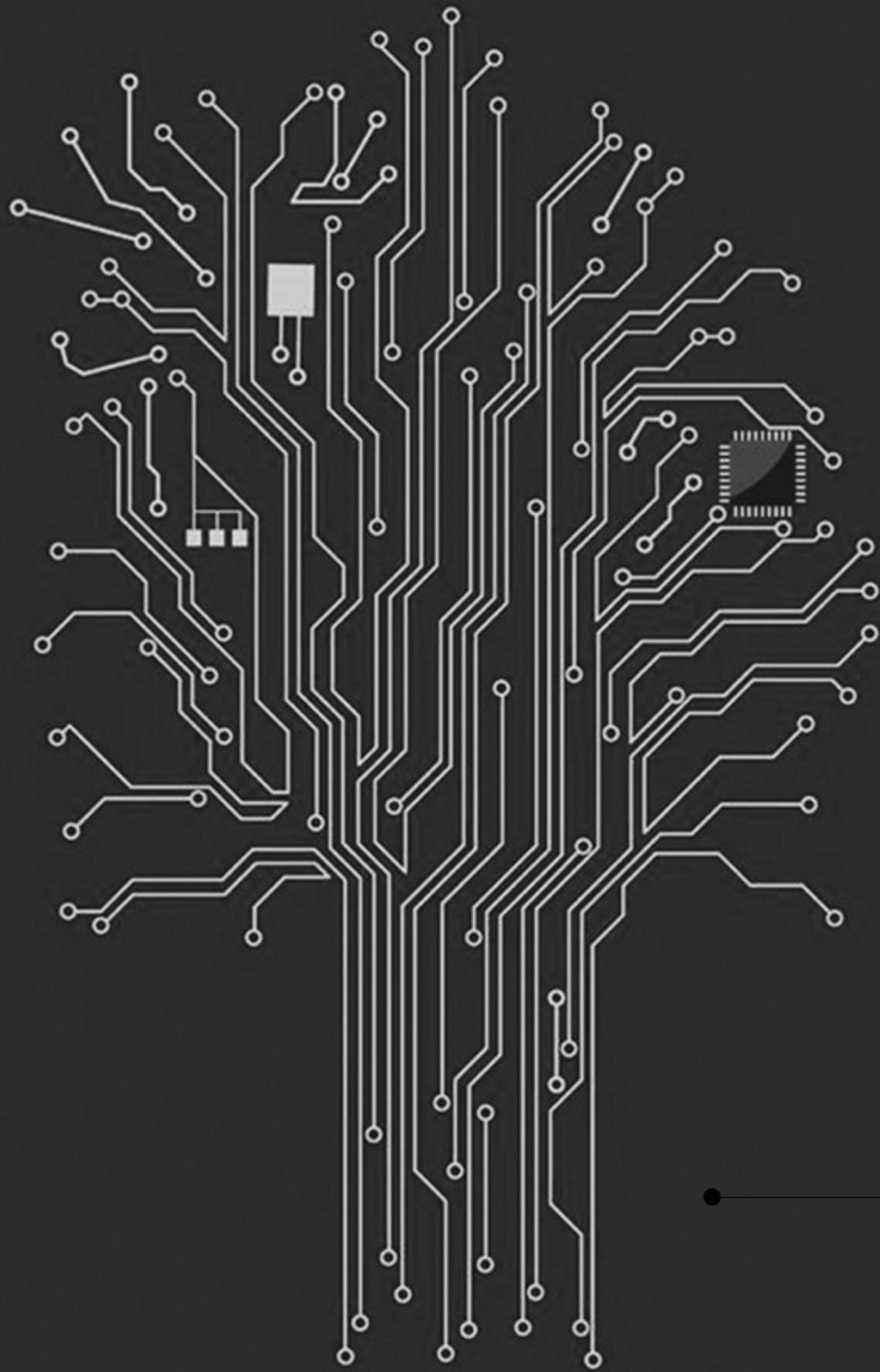
Parallelamente, le autorità pubbliche europee e nazionali dovranno avviare un gigantesco programma di ricerca con i seguenti obiettivi:

- la progettazione e creazione di archivi pubblici dei dati scientifici, culturali e sociali;
- lo sviluppo di programmi pubblici per le più importanti applicazioni di intelligenza artificiale;
- la creazione di una rete comunitaria di server pubblici di archivi di enormi dimensioni.

BIBLIOGRAFIA

- Gonzalez-Barahon, Jesus M. 2021. "A Brief History of Free, Open-Source Software and Its Communities." *Computer*, Feb. 2021, vol. 54, issue 2, pp. 75-79.
- Kushner, David. 2011. "The Making of Arduino." *IEEE Spectrum*, 26 Oct 2011.
- Margolis, Michael, Brian Jepson, e Nicholas Robert Weldin. 2020. *Arduino Cookbook*. Sebastopol: O'Really.
- Mishra, Sanjaya. 2017. "Open educational resources: removing barriers from within." *Distance Education*, vol. 38, issue 3, pp. 369-380.
- Nascimbeni, Fabio. 2020. *Open Education. OER, MOOC e pratiche didattiche aperte verso l'inclusione digitale educativa*. Milano: Franco Angeli.
- Stallman, Richard M. 1998. *The GNU Project. Free Software Foundation*. <https://www.gnu.org/gnu/thegnuproject.html>
- Uggeri, Matteo. 2020. *Il manuale dell'e-Learning: guida strategica per la scuola e la formazione aziendale*. Milano: Apogeo.

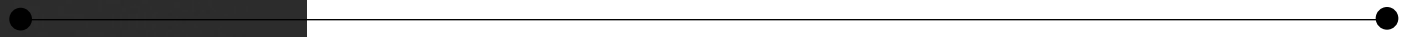
<https://doi.org/10.36173/SII-parteprima-vol3-41>



Prima parte
Volume 3

Indice dei nomi di persona

I nomi e i numeri in corsivo indicano gli autori e l'inizio dei loro contributi.



- Abbattista, Fabio, 1156
 Abbondanza, Ettore, 1185
 Abetti, Pier Antonio, 1189
 Accame, Marco, 1031, 1037
 Aceto, Luca, 895, 923, 925
 Adami, Riccardo, 1025
 Adorni, Giovanni, 989, 997, 1031, 1037
 Agerwala, Tilak, 919, 925
 Agha, Gul, 895, 925
 Agosti, Maristella, 924, 1054, 1111, 1128, 1130, 1133, 1137, 1142-1143, 1257, 1283
 Agostini, Luca, 960, 977
 Ahuja, Sanjeev, 1207
 Aida, Shuhei, 943, 971
 Aiello, Marco, 971
 Aiello, Mario, 942-944, 948, 971
 Airenti, Gabriella, 988, 997
 Ajmone Marsan, Marco, 921, 923, 926-927
 Alberti, Marco, 967, 971
 Aldinucci, Marco, 1094
 Alfonsi, Cristiana Rita, 1057
 Alinei, Mario, 1131, 1143
 Alpuente, Maria, 884
 Alviano, Mario, 1037
 Amadio, Roberto, 923
 Amari, Shun'ichi, 1012, 1037
 Amati, Gianni, 947, 971
 Amato, Gianluca, 880
 Ambrosio, Silvano, 1192
 Amigoni, Francesco, 967, 971-972
 Amoroso, Ortenzia, 1039
 Anastasi, Giuseppe, 1091
 Andersen, Arthur, 1199
 Andronico, Alfio, 1053, 1159, 1183
 Angiani, Giulio, 1235
 Angluin, Dana, 1013, 1037
 Antonioni, Emanuele, 965, 972
 Aparo, Enzo Luigi, 1050, 1053, 1119
 Apolloni, Bruno, 1025, 1037
 Appice, Annalisa, 1031, 1037, 1043
 Apt, Krzystof R., 881-882, 884-885
 Ardagna, Claudio Agostino, 1088
 Ardissono, Liliana, 991-992, 998
 Arigoni, Anio, 1024, 1028
 Armando, Alessandro, 1072, 1087-1088
 Armano, Giuliano, 1036-1037
 Asada, Minoru, 965, 972-973
 Asperti, Andrea, 921, 923-925
 Aspray, William, 1174
 Atlas, Les, 1011, 1042
 Attardi, Giuseppe, detto Beppe, 943-944, 948-949, 971-972, 985, 994, 1067, 1111
 Atzeni, Paolo, 1071-1072, 1283
 Audrito, Giorgio, 1235-1236
 Ausiello, Giorgio, 877, 1283
 Avalle, d'Arco Silvio, 1129, 1131, 1143
 Azzolini, Damiano, 966, 972

 Babbage, Charles, 1163
 Bacciu, Davide, 960, 972
 Backus, John, 876-877
 Badaloni, Silvana, 968, 972
 Badreddine, Samy, 966, 972

 Baeten, Jos C. M., 895, 923, 925
 Baez, John C., 917, 925
 Bagnall, Brian, 1257
 Bagnara, Roberto, 880-881
 Balbo, Gianfranco, 923
 Baldan, Paolo, 916, 923-925
 Baldassi, Carlo, 1034, 1037
 Baldoni, Matteo, 952, 972
 Baldoni, Roberto, 1071, 1081, 1083, 1087
 Balestrini, Nanni, 1129
 Ballo, Edoardo, 1137
 Balocco, Raffaello, 1207
 Balzer, Robert, 880
 Bara, Bruno G., 988, 997
 Barabási, Albert-László, 1044
 Baralis, Elena, 1036, 1041
 Barbanera, Franco, 924
 Barbieri, Luca, 1229
 Barbiero, Pietro, 973
 Barbrook, Adrian C., 1131, 1143
 Barbuti, Roberto, 879, 881-883, 885, 924
 Baroglio, Cristina, 1028-1029, 1037
 Bartezzaghi, Emilio, 1207
 Bartlett, Frederic C., 982, 996
 Barto, Andrew, 1017, 1045
 Bartoletti, Massimo, 924
 Bartoli, Francesco, 1037
 Bartolini, Andrea, 967, 975
 Basile, Pierpaolo,
 Basile, Teresa M.A., 1040, 1043
 Basili, Roberto, 991-992, 995, 999, 1024
 Basilico, Nicola, 967, 972
 Battiato, Sebastiano, 1072
 Beccuti, Marco, 1096
 Bellia, Marco, 879, 885
 Bellini, Roberto, 1207
 Bellisario, Marisa, 1053
 Bellodi, Elena, 976, 1033, 1037, 1039
Bellussi, Elia, 1147-1148, 1162, 1283
 Benetti, Elisabetta, 1123
 Bengio, Yoshua, 1011, 1037, 1041
 Beranek, Leo, 983
 Berardi, Margherita, 1031, 1038
 Bergadano, Francesco, 1018, 1023-1024, 1037-1038, 1041
 Berla, Riccardo, 1050
 Berlusconi, Silvio, 1260
 Bernardo, Marco, 924
 Berners-Lee, Timothy John, detto Tim, 1133, 1135, 1143
 Bertolazzi, Paola, 1283
 Bertoli, Piergiorgio, 953, 973
 Bertolino, Antonia, 921
 Bertoni, Alberto, 1025, 1038
 Best, Eike, 912, 916, 925
 Bettini, Lorenzo, 924
 Bevilacqua, Michel, 999
 Biba, Marenglen, 1035, 1038, 1040
 Bibel, Wolfgang, 953
 Bicego, Manuele, 1033, 1038
 Bielli, Paola, 1188-1189
 Bifet, Albert, 1035, 1039
 Biffi, Alfredo, 1189

 Billi, Roberto, 990, 993
 Billington, Jonathan, 909, 925
 Binagli, Elisabetta, 1026
 Bini Verona, Francesco, 1026, 1038
 Birago, Giuseppe, 1051
 Bisio, Rossella, 1026, 1030, 1038
 Bistarelli, Stefano, 968, 972
 Bjørner, Dines, 880
 Black, William J., 998
 Blake, Norman, 1143
 Blankenbaker, John, 1243
 Bloisi, Domenico Daniele, 977
 Bodei, Chiara, 924, 1167, 1174
 Böhm, Corrado, 877-878, 885, 936, 938-940, 1048, 1163, 1171
 Boldi, Paolo, 1232
 Bolognani, Mario, 880, 885
 Bolt, Richard, 983
 Bonabeau, Eric, 1028, 1038
 Bonacci, Leonardo, detto Fibonacci, 1235-1236
 Bonaga, Stefano, 1204
 Bonarini, Andrea, 1027
 Bonatti, Piero A., 879, 884-885
 Bonchi, Filippo, 917, 924-925
 Bonchi, Francesco, 1032, 1038
 Bonfanti, Corrado, 1054, 1057, 1117, 1119, 1122-1123, 1153, 1159
 Bonfatti, Flavio, 1187, 1284
 Bongiovanni, Giancarlo, 1068
 Bongiovanni, Yann, 1207
 Bonizzoni, Paola, 1284
 Booch, Grady, 909, 928
 Booth, Taylor Lockwood, 1013, 1040
 Boreale, Michele, 924
 Borgi, Elena, 1163, 1284
 Borgonovi, Elio, 1188
 Borgs, Christian, 1037
 Borsellino, Antonio, 936-937, 972, 1050
 Boscariol, Matteo, 1232
 Boschetti, Marco, 1036, 1038
 Bosco, Pier Giorgio, 879, 885
 Bossi, Annalisa, 879-883, 885-886
 Botta, Marco, 1028-1029, 1033, 1037-1038, 1041, 1044
 Bowen, Kenneth A., 881
 Bozzi, Andrea, 981, 1137
 Bracchi, Giampio, 1063
 Brachman, Ronald J., 948, 960
 Brancadori, Filippo, 1041
 Bratko, Ivan, 1016, 1038
 Brauer, Wilfried, 919, 925, 928
 Bravetti, Mario, 924
 Breiman, Leo, 1017, 1038
 Breno, Elena, 1057
 Bresnan, Joan, 985
 Bresta, Gabriele, 1207
 Briguglio, Filippo, 1137
 Brill, Eric, 992, 998
 Brim, Lubos, 882
 Bringsjord, Selmer, 973
 Brogi, Antonio, 923, 967, 972
 Bruch, Sebastian, 1033, 1038952
Bruni, Roberto, 891, 895, 913, 915-917, 923, 925,
 1065, 1284
 Brusoni, Vittorio, 952, 972
 Bruynooghe, Maurice, 881-882
 Bugliesi, Michele, 880, 882-883, 886, 924, 967, 973
 Burattin, Andrea, 1043
 Burnet, Maxwell M., detto Max, 1174
 Busa, Roberto, 938, 981, 1053, 1122, 1128-1130, 1143
 Buscemi, Maria Grazia, 921, 924, 926
 Busi, Nadia, 921, 924-925
 Buttazzo, Giorgio, 1111, 1207
 Buzzetti, Dino, 1129, 1132, 1136-1137, 1139, 1143
Buzzoni, Marina, 981, 1056, 1127, 1134, 1143,
 1284
 Byron, Augusta Ada, contessa di Lovelace, 1163, 1165, 1283

 Cadoli, Marco, 947, 960, 967, 973, 977
 Cagnoni, Stefano, 1031, 1037
 Caianiello, Eduardo Renato, 885, 936-937, 939, 951, 960, 972-973, 1020
 Caianiello, Pasquale, 1025
 Calvo, Marco, 1137
 Calzarossa, Maria Carla, 1055-1057
 Calzolari, Nicoletta, 981, 993
 Cambiaso, Matteo, 1043
 Cammozzo, Alberto, 1284
 Campagna, Giovanni, 1232, 1236
 Camussone, Pier Franco, 1188-1189, 1208
 Cangelosi, Angelo, 973
 Canonico, Massimo, 1044
 Canti, Gustavo, 1110
 Cantoni, Virginio, 924, 1285
 Capellaro, Natale, 1158, 1169-1170, 1172
 Cappelli, Amedeo, 985-986, 989, 997
 Capriz, Gianfranco, 942-943
 Caracciolo di Forino, Alfonso, 877-878, 886, 936, 939-940, 942, 1050-1051
 Carbone, Marco, 924
 Carbonell, Jaime Guillermo, 1007, 1015, 1018, 1022, 1024, 1038
 Carenini, Giuseppe, 989
 Carletto, Giorgeliana, 1235
Carlucci Aiello, Luigia, detta Gigina, 872, 880, 931,
 943-944, 947-949, 951, 956, 961, 971, 973,
 977, 980, 985, 991, 996, 1024, 1130, 1141,
 1285
 Carmineo, Andrea, 1285
 Carnap, Rudolf, 982
 Carnevale Maffè, Roberto, 1206
 Carpani, Augusto, 1191
 Carpineto, Claudio, 1024, 1038
 Carrà, Piero, 1207
 Carrozza, Maria Chiara, 1285
 Casadei, Giorgio, 951, 1232
 Cases, Cesare, 1129
 Cassinis, Riccardo, 1031, 1038
 Castelfranchi, Cristiano, 968, 973, 986, 989
 Castellani, Ilaria, 923
 Castiglioni, Matteo, 967, 973
 Cavagnino, Davide, 1033, 1038
 Cavallanti, Giovanni, 1033, 1038
 Cavallini, Giorgio, 1063

- Cavedon, Mario, 1051
 Ceccato, Silvio, 937-938, 981, 1130, 1192
 Ceccherini, Paolo, 1208
 Cecchi, Carlo, 948, 971
 Cecconi, Francesco, 999
 Ceci, Michelangelo, 1031, 1038, 1043-1044
 Celentano, Augusto, 1135, 1143
 Celli, Andrea, 1285
 Ceri, Stefano, 1036
 Cerone, Antonio, 923
 Cerri, Luca, 1152-1154, 1162, 1175
 Cerri, Stefano, 951, 953, 955
 Cesa-Bianchi, Nicolò, 1033-1034, 1038-1039
 Cesta, Amedeo, 956, 969, 973, 976
 Chalmers, David, 970
 Charman-Anderson, Suw, 1165
 Chayes, Jennifer, 1037
 Chella, Antonio, 970, 972
 Chesani, Federico, 971, 976, 1033, 1039
 Chiesa, Paolo, 1137
 Chiola, Giovanni, 923
 Chipman, Susan, 1045
 Chomsky, Noam, 933, 982
 Christensen, Søren, 921, 926
 Church, Alonzo, 875, 878, 886, 932-933, 939
 Cialdea, Marta, 947, 973
Ciancarini, Paolo, 923, 1047, 1057, 1067-1069, 1071-1072, 1139, 1285
 Ciancia, Vincenzo, 919, 924, 926
 Cignoni, Giovanni A., 1167, 1174, 1286
 Ciliberto, Carlo, 1063
 Cimatti, Alessandro, 953, 973
 Cimitile, Aniello, 880, 1286
 Ciobanu, Madalina, 1235
 Ciotti, Fabio, 1132, 1136-1137, 1139, 1141-1144
 Ciprietti, Andrea, 1236
 Ciravegna, Fabio, 991-992, 998
 Ciravegna, Gabriele, 966, 973
 Clark, Keith L., 874, 886
 Clavel, Manuel, 895, 926
 Cocco, Nicoletta, 880-881, 883, 885
 Codish, Michael, 882-883, 885
 Codognet, Philippe, 881
 Coecke, Bob, 917, 926
 Colmerauer, Alain, 873, 886, 949
 Colombetti, Marco, 942, 988, 997
 Colorni, Alberto, 1028, 1207
 Colosio, Giuseppe, 1229
 Comini, Marco, 880, 882, 886
 Comino, R., 988, 997
 Concina, Diego, 1044
 Condulmari, Nazzareno, 1191
 Conia, Simone, 999
 Console, Luca, 952, 972, 974, 1071-1072
 Contini, Gianfranco, 1129
 Convertito, Vincenzo, 1034, 1039
 Coppo, Mario, 924, 945
 Cordella, Luigi P., 943, 971
 Cordeschi, Roberto, 936, 971, 974, 977
 Cornuéjols, Antoine, 1019, 1031, 1044
 Corradini, Andrea, 923-924
 Corradini, Flavio, 924
 Cortellessa, Gabriella, 973
 Cortes, Corinna, 1017, 1039
 Cortesi, Agostino, 880-883, 886, 888, 1135, 1143
 Cortinovis, Alice, 1236
 Coscia, Patrizia, 879
 Così, Piero, 990, 994
 Courtin, Jacques, 985, 996
 Courville, Aaron, 1041
 Cousot, Patrick, 877, 886
 Cousot, Radhia, 877, 886
 Crafa, Silvia, 924
 Crespi Reghizzi, Stefano, 943, 974, 1053
 Criscuolo, Giovanni, 943, 947, 974, 976
Cristanini, Marco, 1147-1148, 1153, 1159, 1162, 1286
 Croatto-Martinelli, Caterina, 1130, 1143
 Croatto, Lucio, 1130, 1143
 Cucchiara, Rita, 1073
 Cucchiarelli, Alessandro, 992, 999
 Cugini, Umberto, 1187
 Curry, Christopher, detto Chris, 1257
 Curry, Haskell, 878, 939
 Cutello, Vincenzo, 1018, 1038
 D'Aloisi, Daniela, 976
 d'Avila Garcez, Artur, 972, 1041
 D'Alfonso, Matteo, 1137
 d'Amato, Claudia, 1035, 1037, 1039-1040, 1044
 d'Aquino, Tommaso, 1128, 1130
 Dadda, Luigi, 939-940, 1050-1051, 1053, 1107, 1119
 Dadda, Roberto, 1205, 1286
 Dahl, Ole-Johan, 877, 888
 Dale, Robert, 1012, 1039
 Dale, Rodney, 1257
 Dalle Molle, Angelo, 982
 Dalle Rive, Leonardo, 1192
 Damgaard Hansen, Niels, 926
Damiani, Ernesto, 1055, 1059, 1067, 1072, 1140, 1252, 1286
 Danieli, Morena, 990
 Danton, Tim, 1257
 Darondeau, Philippe, 895, 926
 Dazzi, Patrizio, 1095
 De Ambrogio, Walter, 1189
 de Bakker, Jaco W., 878, 881, 884
 de Boer, Frank S., 880, 886-887
 De Cindio, Fiorella, 1204
 de Falco, Diego, 1037
 de Finetti, Bruno, 936
 De Francesco, Nicoletta, 923
 De Francisci Morales, Gianmarco, 1035, 1039, 1044
 de Gemmis, Marco, 1043
 De Giacomo, Giuseppe, 948, 960, 969, 973-974, 976
 De Giorgio, Antonio, detto Tony, 1286
 De Jong, Kenneth, 1017, 1039
 De Lotto, Ivo, 1063, 1065, 1067-1068, 1287
 De Marchi, Davide, 1041
 De Mauro, Tullio, 1131
 De Mori, Renato, 943, 952, 974, 985-987, 990, 996-997, 1021, 1039
 De Natale, Francesco, 1031, 1037
 De Nicola, Rocco, 923-924, 1071-1072, 1081, 1083
 De Pinto, Pietro, 1038
 De Raedt, Luc, 966, 1018-1019, 1034, 1039, 1042, 1044
 de Roeper, William-Paul, 881
 De Rossi, Gianluca, 999
 De Sandre, Giovanni, 1169
 de' Liguoro, Ugo, 924
 Debray, Saumya K., 881, 883
 Decina, Maurizio, 1206
 Degano, Pierpaolo, 882, 895, 923-924, 926, 928, 943, 974
 Degl'Innocenti, Emiliano, 1137
 Degli Antoni, Giovanni, detto Gianni, 1063, 1187
 Del Monte, Rodolfo, 989
 Dell'Orco, Piero, 943, 974, 986-987, 996
 Demetrescu, Camil, 1083
 Denis, Michel, 973
 Dennis, Jack B., 909, 919, 926
 Denoth, Franco, 1053, 1119
 Deussen, Peter, 927
 Devillers, Raymond R., 912, 916, 925
 Devoto, Giacomo, 1129
 Devroye, Luc, 1007, 1039
 Dezani Ciancaglini, Mariangiola, 879, 924, 945, 1163
 Di Cosmo, Roberto, 1174, 1207
 Di Donato, Francesca, 1137
 Di Eugenio, Barbara, 988, 997
 Di Manzo, Mauro, 951, 989, 997
 Di Martino, Beniamino, 1072
 Di Mauro, Nicola, 1033, 1035, 1039-1040, 1045
 Di Pace, Luigi, 1025
 Di Pierro, Alessandra, 880, 883-884, 886-887
 Di Rienzo, Benedetto, 1229
 Diaz, Michel, 909, 925
 Dijkstra, Edsger Wÿbe, 904, 926
 Diligenti, Michelangelo, 966, 974, 1034, 1039
 Dilonardo, Fabio, 1205
 Dolguez, Damien, 876
 Domingos, Pedro, 1019, 1039
 Donatelli, Susanna, 923
 Donati, Alessandro, 973
 Donini, Francesco M., 947, 960, 973-974
 Donini, Michele, 1034, 1039
 Donzella, Paolo, 1205
 Dorigo, Marco, 1027-1029, 1038-1039
 Dovis, Alessandro, 1236
 Draghi, Mario, 1086
 Dressler, Oskar, 952, 974
 Dumas, Marlon, 908, 926
 Eco, Umberto, 1129
 Effendy, Suhendry, 1237
 Ehrig, Hartmut, 883, 895, 909, 926
 Ehrig, Karsten, 895, 926
 Eiter, Thomas, 947, 968, 975
 Ercoli, Paolo, 1048, 1050-1053
 Ermel, Claudia, 895, 926
 Ershov, Andrei, 880
 Esparza, Javier, 915, 926
Esposito, Floriana, 1003, 1018, 1020, 1023, 1027, 1029-1033, 1035, 1037-1040, 1043-1045, 1111, 1287
 Esposito, Roberto, 1033, 1037-1038, 1040
 Etalle, Sandro, 880-883, 885
 Faber, Wolfgang, 975
 Fabris, Marco, 882
 Fabrocini, Filippo, 1025
 Fadini, Bruno, 1053, 1063, 1067-1068, 1070, 1118, 1123, 1237
 Faedo, Alessandro Carlo, detto Sandro, 1053, 1105
 Falaschi, Moreno, 879-880, 884, 887
 Falcidieno, Bianca, 1187
 Falcone, Rino, 968, 973
 Falda, Marco, 972
 Fangmeyer, Hermann, 1192
 Fanizzi, Nicola, 1035, 1039-1040, 1044-1045
 Fantechi, Alessandro, 923
 Farina, Gabriele, 1236
 Fasolo, Michela, 989, 998, 1034, 1045
 Favorito, Marco, 974
 Feigenbaum, Edward, 935, 943
 Fein, Louis, 1049
 Felici, Giovanni, 1287
Ferilli, Stefano, 1032, 1034, 1038, 1040, 1045, 1147-1148, 1156, 1158, 1174, 1239, 1243, 1257, 1287
 Fermi, Enrico, 937, 939, 1160, 1167
 Ferrara, Alfio, 1137
 Ferrari, Domenico, 880, 885
 Ferrari, Giacomo, 951, 985-987, 989, 991, 996
 Ferrari, Gian-Luigi, 919, 923-924, 926
 Ferraris, Stefano, 1033, 1040
 Ferraro, Gaspare, 1235
 Ferraro, Massimo, 998
 Ferrero, Enrico, 1051
 Ferrero, Giovanni, 1204
 Ferretti, Claudio, 1025
 Ferretti, Marco, 1056, 1068, 1071-1072, 1076, 1241, 1287
Ferro, Nicola, 1054, 1103, 1111, 1287
 Filè, Gilberto, 879-882, 886-887
Filippazzi, Franco, 1054, 1057, 1103, 1109-1111, 1122-1123, 1288, 1292
 Fillmore, Charles, 985
 Fioravanti, Simone, 1036, 1040
 Fiore, Marcelo P., 917, 926
 Fiorimonte, Domenico, 1133, 1137, 1144
 Flach, Peter, 1018, 1040
 Flammini, Michele, 1036, 1040
 Flinn, Andrew, 1128, 1144
 Focardi, Riccardo, 924
 Folena, Gianfranco, 1129
 Fong, Brendan, 917, 925
 Foresti, Gian Luca, 1288
 Fornaciari, William, 1072
 Fornari, Davide, 1175
 Fortunati, Paolo, 1050-1051
 Foschini, Luca, 1227, 1236
 Foti, Petrina, 1175
 Franceschi, Luca, 1039
 Franceschi, Paola, 879
 Franceschinis, Giuliana, 923
 Francini, Giuseppe, 1130
 Franconi, Enrico, 989, 992, 998
 Frank, Robert, 992, 999

- Franz, Giada, 1235-1236
Frasconi, Paolo, 960, 966, 974, 1011, 1026, 1034, 1037, 1039-1040, 1042, 1044
Fratini, Simone, 973
Frege, Gottlob, 1013, 1040
Freund, Yoav, 1017, 1040
Fristani, Arrigo, 1052-1053, 1056, 1103, 1108, 1288, 1292
Froger, Jacques, 1131, 1143
Frontini, Francesca, 1142-1143
Fu, King-Sun, 1013, 1040
Fukushima, Kunihiko, 1011, 1040
Fum, Danilo, 989, 997
Furuhashi, Takeshi, 1045
Furukawa, Koichi, 881, 883
Fusani, Mario, 921
- Gabbay, Dov M., 971, 1038
Gabbrielli, Maurizio, 879-881, 883-884, 886-887
Gadducci, Fabio, 923, 1072, 1167, 1174
Gaglio, Salvatore, 951
Galassi, Ugo, 1034, 1041
Galilei, Galileo, 1167
Gallaire, Hervé, 886
Gallicchio, Claudio, 1032, 1041
Galligani, Ilio, 1193
Gamba, Augusto, 937, 972
Gambaro, Cristina, 1187
Garcez, Artur d'Avila, 972, 1019, 1041
Gardin, Jean-Claude, 1136, 1144
Garziera, Gastone, 1158, 1169
Gastin, Paul, 928
Gates, William Henry, detto Bill, 1244
Gati, Monica, 1229
Gatti, Marco, 1188
Gatti, Nicola, 967, 971-973
Gavanelli, Marco, 967, 971, 974
Gelernter, Herbert, 941
Gemello, Roberto, 990, 997, 1026, 1037, 1041
Genovè De Vita, Marta, 1229, 1237
Gentile, Claudio, 1033, 1038
Gerevini, Alfonso, 968, 975
Getoor, Lisa, 1019, 1041
Geymonat, Ludovico, 936
Ghezzi, Carlo, 880, 1288
Ghizzetti, Aldo, 1048, 1050-1053, 1057, 1105
Giachino, Elena, 924
Giacobazzi, Roberto, 879-883, 885-887, 1159
Giacomin, Massimiliano, 968, 972
Giampaolo, Fabio, 1039
Giancarlo, Raffaele, 1071
Giannini, Francesco, 973
Giannotti, Fosca, 1030, 1032, 1038, 1041, 1044
Gigliozzi, Giuseppe, 1131-1132, 1143
Gilardoni, Luca, 992, 998
Gini, Giuseppina, 942, 1288
Giobergia, Flavio, 1036, 1041
Giordana, Attilio, 990, 997, 1017-1019, 1023-1024, 1027-1029, 1031, 1034, 1037, 1041, 1044
Giordano, Laura, 947, 952, 972, 975, 1037
Giorgi, Alessandra, 992, 998
Giovannardi, Andrea, 947, 973
Giovannetti, Elio, 879, 885, 887
- Giuliani, Andrea, 1181
Giunchiglia, Fausto, 947-948, 956, 975, 989, 997
Glaudo, Federico, 1229, 1236
Gnesi, Stefania, 919, 921, 923-924, 926
Goguen, Joseph, 880, 885
Gold, Mark, 1013, 1041
Goldberg, David, 1017, 1041
Goller, Christoph, 960, 977
Goltz, Ursula, 912, 917, 926
Gomes, Luís, 909, 928
Gomez, Aidan, 1045
Gonzalez-Barahon, Jesus M., 1267
Goodfellow, Ian, 1012, 1041
Gori, Marco, 956, 960, 966, 973-975, 1026, 1029, 1034, 1039-1041
Gori, Roberta, 880, 886
Gorla, Daniele, 924
Gorrieri, Roberto, 882, 916, 923-924, 926, 928
Gottlob, Georg, 947, 968, 975
Grabowski, Jens, 895, 928
Grad, Burton, 1175
Graf, Susanne, 928
Grana, D., 1031, 1038
Grasselli, Antonio, 941
Graubmann, Peter, 895, 928
Graziadio, Bruno, 990
Grazzini, Enrico, 1205
Greco, Gianluigi, 956, 967, 975
Greco, Sergio, 967, 975
Green, Cordell, 873, 888
Gregory, Tullio, 1131
Gronchi, Giovanni, 1048
Gross, Wolf, 878, 885
Grossi, Ivan, 1288
Grossi, Pietro, 1173, 1175
Grossi, Roberto, 1056, 1219, 1232, 1237, 1289
Gruska, Jozef, 882
Guarino, Nicola, 946, 975
Guerrero, Antonio, 1026
Guessarian, Irène, 926
Guida, Giovanni, 942-943, 952, 955, 975, 985-989, 996-997, 1187
Guidotti, Riccardo, 1032, 1041
Gullo, Francesco, 1036, 1041
Gunetti, Daniele, 1018, 1038
Gupta, Madan M., 1042
- Haijcová, Eva, 985
Halim, Felix, 1237
Halim, Steve, 1237
Halliday, Michael A.K., 985
Hanus, Michael, 882
Harel, David, 895, 926
Haridi, Seif, 882, 888
Harper, Robert, 876, 888
Harris, Zellig, 982
Hart, Peter, 935
Hashagen, Ulf, 1119, 1123, 1175
Hebb, Donald, 1008, 1012, 1026, 1042
Heckel, Reiko, 895, 926
Heljanko, Keijo, 915, 926
Hendler, James, 1135, 1143
Hénin, Silvio, 1054, 1152-1154, 1162, 1174-1175
- Hermenegildo, Manuel, 881
Hewitt, Carl, 873, 888, 941, 944
Hinton, Geoffrey, 1009, 1011, 1042
Hirsch, Dan, 924
Hoare, Charles Antony Richard, detto Tony, 876, 895, 904, 926
Hochreiter, Josef, detto Sepp, 1012, 1042
Hoffmann, Frank, 1045
Hoffsas, Colette, 1057
Holland, John, 1017, 1042
Hollunder, Bernhard, 974
Homma, Toshiteru, 1011, 1042
Honsell, Furio, 879, 926
Hopfield, John, 1012, 1042
Howe, Christopher J., 1143
Hubel, David, 1011, 1042
Hull, Clark, 1004, 1042
Hume, David, 1007, 1042
- Incerti, Sandro, 943, 955, 957, 975, 986, 990, 1187
Ingrosso, Alessandro, 1037
Inverardi, Paola, 923, 1052
Iocchi, Luca, 974
Ising, Ernst, 1012, 1042
Italiani, Mario, 1057, 1116, 1191
Ivacevic, N., 943, 971
- Jacobelli, Jader, 955, 975
Jacobson, Ivar, 909, 928
Jacopini, Giuseppe, 878, 885, 1163, 1171
Jacucci, Gianni, 1025
Jaeger, Manfred, 1042
Jaffar, Joxan, 874, 888
Janicki, Ryszard, 921, 926
Janson, Sverker, 882, 888
Jensen, Kurt, 921, 926
Jepson, Brian, 1267
Jin, Wang, 1043
Jing, Wang, 1043
Joachims, Thorsten, 1017, 1042
Johnson, Michael, 882, 927
Johnsonbaugh, Richard, 919, 927
Jones, Lion, 1045
Jones, Neil D., 879
Joy, Bill, 880
Jurafsky, Daniel, 980, 996
- Kaddour, Jean, 1018, 1042
Kahn, Gilles, 895, 927
Kaiser, Daniel, 1044
Kaiser, Lukasz, 1045
Kaiser, Michael, 1037
Kakani, Vijay, 1044
Kakas, Antonio, 1018, 1030, 1040, 1042
Kannadasan, A., 1044
Kaplan, Ron, 985
Karp, Cary, 1175
Kasparov, Gary, 964
Katis, Piergiulio, 924, 927
Kay, Alan, 880, 934, 944
Kay, Martin, 985
Kedar-Cabelli, Smadar, 1016, 1043
Keller, Richard, 1016, 1043
- Kendall, Michael, 1057
Kessler, Bruno, 947, 1062
King, Margaret, 943, 974, 987, 996
Kirchner, Hélène, 881-882
Kissinger, Aleks, 917, 926
Klin, Bartek, 899, 927
Klop, Jan Willem, 923, 925
Knuth, Donald Ervin, 878, 888
Kodratoff, Yves, 1016, 1042
Kodric, Bojana, 1040
Kok, Joost N., 887
Köppen, Mario, 1045
Koudounas, Alkis, 1036, 1041
Koutny, Maciej, 916, 921, 925-926
Kowalski, Robert A., 873, 881, 883, 888, 949
Koza, John, 1017, 1042
Krishnamoorthy, A., 1044
Kristensen, Lars M., 921, 926
Kroes, Nellie, 1261
Kruse, Rudolf, 1038
Küchler, Andreas, 1041
Kuehner, Donald, 873, 888
Kuich, Werner, 881
Kulp, Patrick, 1012, 1042
Kunze, Matthias, 908, 927
Kushner, David, 1267
- Labella, Anna, 923
Laface, Pietro, 985-986, 990, 997
Laforenza, Domenico, 921, 981, 1130, 1289
Lakoff, George, 985
Lamb, Luis, 1019, 1041
Lamma, Evelina, 880, 882, 884, 886, 966-968, 971-976, 1030, 1039
Lampson, Butler, 880
Lana, Maurizio, 1137
Landwehr, Niels, 1033-1034, 1042
Lanese, Ivan, 924
Laneve, Cosimo, 923-924
Langley, Pat, 1005, 1042
Lanotte, Ruggero, 924
Lariccia, Giovanni, 986
Lariccia, Stefano, 1137
Laroussinie, François, 928
Larsen, Kim G., 928
Lassez, Jean-Louis, 874, 888
Lassilla, Ora, 1135, 1143
Latella, Diego, 924
Laura, Luigi, 1056, 1219, 1235, 1239, 1289
Lauria, Francesco, 951, 972, 1038
Lavagno, Luciano, 909, 928
Lavelli, Alberto, 989, 998
Lazzari, Gianni, 990
Le Charlier, Baudouin, 881-883, 888
Leach Albert, Javier, 881
Leclère, Christophe, 883, 888
LeCun, Yann, 1011, 1042
Lee, Daniel D., 972
Lee, Insup, 927
Lembo, Domenico, 973, 976
Lenisa, Marina, 923
Lenz, Wilhelm, 1012, 1042
Lenzerini, Maurizio, 947, 957, 960, 973-974, 976, 1071

Lenzi, Andrea, 1289
 Leonardi, Claudio, 1132
 Leonardi, Giorgio, 1042
 Leone, Nicola, 967-968, 975
 Leporati, Francesco, 1095
 Lepschy, Antonio, 938
 Leroy, Xavier, 876
 Lesmo, Leonardo, 943, 951, 985-988, 992, 997, 1016, 1021, 1042, 1071
 Letchford, Adam, 1036, 1038
 Lettieri, Giuseppe, 1167, 1174
 Levesque, Hector J., 948, 960
 Levi, Francesca, 880, 883, 924
Levi, Giorgio, 871, 878-888, 942-943, 975, 1289
 Levaldi Ghiron, Stefano, 1063
 Liberatore, Paolo, 973
 Lighthill, James, 945
 Lindemann, Christoph, 921, 927
 Liò, Pietro, 973
 Lippi, Marco, 1034, 1042
 Lisi, Francesca Alessandra, 1031, 1042
 Liskov, Barbara, 880
 Liu, Qi, 1042
 Lloyd, John, 875, 882, 888
 Lo Bello, Antonio, 1229
 Loisel, Régine, 1016, 1042
 Lombardi, Michele, 967, 975
 Lombardo, Alessandro, 998
 Lombardo, Vincenzo, 988, 992, 998
 Lops, Pasquale, 1035, 1042-1043
 Loreti, Michele, 924
 Lowd, Daniel, 1019, 1039
 Lucarella, Dario, 1185, 1187
 Lucchese, Claudio, 1033, 1038, 1042
 Luccio, Fabrizio, 1232, 1290
 Lucentini, Franco, 1129
 Lucibello, Carlo, 1037
 Lugosi, Gábor, 1034, 1039
 Luperini, Claudio, 1166, 1175
 Lynch, Aengus, 1042

 Mac Lane, Saunders, 895, 927
 Mach, Ernst, 1004, 1043
 Maes, Pattie, 879, 948, 975
 Maggi, Fabrizio Maria, 1043
 Maggini, Marco, 966, 973, 1039-1040
 Maggiolo, Luca, 1036, 1043
 Maggiolo, Stefano, 1232, 1235-1236
 Maggiolo Schettini, Andrea, 924
 Magnani, Daniela, 943, 987, 997
 Magnini, Bernardo, 989, 995-996
 Magnolfi, Beatrice Maria, 1261
 Maher, Michael J., 882
 Mainetto, Giovanni, 1038
 Majumder, Orchid, 1039
 Malabocchia, Fabio, 1030
 Malerba, Donato, 1027, 1029, 1031, 1037-1040, 1042-1045, 1088, 1158
 Mana, Franco, 1026, 1041
 Mana, Nadia, 998
 Manca, Vincenzo, 1159
 Mancarella, Paolo, 879, 883, 885, 888, 972
 Manco, Giuseppe, 1041
 Manconi, Andrea, 1036-1037
 Mandaglio, Domenico, 1036, 1041
 Mandarano, Nicolette, 1175
 Maniezzo, Vittorio, 1024, 1027-1028, 1036, 1038
 Manucci, Franco, 943, 990
 Manzotti, Riccardo, 970, 973
 Marchesi, Alberto, 973
 Marchetti Spaccamela, Alberto, 882, 928, 1025
 Marchiori, Elena, 880, 882, 885, 887
 Marcoz, Fulvio, 1069
 Marengo, Vittorio, 1029, 1040
 Maresca, Paolo, 1057
 Margaria, Tiziana, 928
 Margolis, Michael, 1267
 Marinai, Simone, 960, 975
 Markov, Andrej, 878, 939, 1033-1035, 1038-1039, 1041
 Marks II, Robert, 1042
 Marriott, Kim, 887
 Martelli, Alberto, 942-943, 947, 952, 972, 975-976, 985, 1063
 Martelli, Maurizio, 879-881, 883-884, 886-888
 Martin, James H., 980, 996, 1199
 Martini, Simone, 879, 883, 888, 936, 976
 Marziali, Alessandro, 999
 Mascellani, Giovanni, 1232
 Masci, Emilia, 1137
 Massa, Giuliano, 1204
 Massai, Marco M., 1166, 1175
 Massink, Mieke, 924
 Mastronardi, Giuseppe, 1111, 1229, 1290
 Mathis, Agostino, 1192
 Matiassek, Johannes, 998
 Mauri, Giancarlo, 1025
 Mazza, Silvia, 998
 Mazzanti, Franco, 923
 Mazzeo, Antonino, 1068, 1071, 1090
 Mazzetti, Alessandro, 1026
 Mazzocca, Nicola, 1090
 Mazzocchi, Carla, 1107
 Mazzucato, Nicolò, 1236
 McCarthy, John, 873, 876, 888, 933-935, 939-940, 942, 944, 946, 976, 1140
 McClelland, James E., 959, 1009, 1044
 McCulloch, Warren, 1008, 1043
 McMillan, Kenneth L., 915, 927
 Meanti, Mauro, 1205
 Meghini, Carlo, 1175
 Melacci, Stefano, 973
 Melgratti, Hernán C., 915-916, 924-925
 Mello, Paola, 879-880, 882, 884, 886, 956, 967-968, 971-976, 1039
 Meltzer, Bernard, 934, 1044
Meo, Angelo Raffaele, 921, 1053, 1067, 1163, 1206, 1259, 1290
 Meo, Maria Chiara, 879-881, 883, 886
 Meo, Rosa, 1032, 1040
 Meregaglia, Giuseppe, 1068
 Merro, Massimo, 924
 Meschini, Federico, 1137
 Meseguer, José, 912-913, 925, 927
 Metta, Giorgio, 973
 Mich, Luisa, 1057
 Michalski, Ryszard S., 1007, 1013-1015, 1018, 1022-1024, 1026, 1029, 1037, 1038, 1040, 1043
 Micheli, Alessio, 1032, 1041, 1043
 Michie, Donald, 934, 1016, 1038, 1044
 Miculan, Marino, 923, 926
 Milanese, Vincenzo, 1143
 Milano, Michela, 967-968, 974-976
 Milazzo, Paolo, 924
 Milner, Robin, 876, 888, 895, 899, 927
 Ming, Liu, 1012, 1043
 Minicozzi, Eliana, 947, 974
 Minker, Jack, 886
 Minsky, Marvin, 933, 938, 941, 945-946, 976, 1009, 1043, 1140
Miola, Angela, 1055, 1059, 1071-1072, 1252, 1290
 Mirza, Mehdi, 1041
 Misa, Thomas J., 1057
 Mishra, Sanjaya, 1267
 Missikoff, Michele, 1206
 Mitchell, Tom, 1005, 1007, 1015-1016, 1022, 1024, 1038, 1043
 Modena, Giulio, 986
 Moiso, Corrado, 879, 885, 887
 Monachini, Monica, 1142-1143
 Monga, Mattia, 1079
 Monien, Bruno, 881
 Monreale, Anna, 1041
 Montagnini, Dario, 999
 Montali, Marco, 967, 976, 1039
Montanari, Ugo, 880, 883, 891, 895, 912-913, 915-917, 919, 921, 923-927, 941-943, 968, 972, 976, 1063, 1065, 1067-1068, 1290
 Montangero, Carlo, 942-943, 976, 984, 996
 Montani, Stefania, 1042
 Montella, Raffaele, 1095
 Montesi, Danilo, 884
 Montesi, Fabrizio, 924
 Monti, Mario, 1262
 Morando, Sergio, 1129, 1144
 Mordenti, Raul, 1132, 1144
 Mordonini, Monica, 1031, 1037
 Moretti, Lorenzo, 985-986, 989, 997
 Morganti, Franco, 1206
Mori, Elisabetta, 1147, 1166, 1168, 1175, 1290
 Moscari, Paola, 1136, 1144
 Moser, Gabriele, 1043
 Moses, Joel, 941
 Motta, Gianmario, 1207
 Mowat, David, 998
 Muggleton, Stephen, 1018, 1043
 Munari, Bruno, 1129
 Muñoz, César A., 928
 Murakam, Masaki, 887
 Murata, Tadao, 919, 927
 Muscettola, Nicola, 969, 976
 Musk, Elon, 1265-1266
 Mustière, Sébastien, 1032, 1043
 Musto, Cataldo, 1035, 1042-1043
 Musumeci, Emanuele, 977

 Naldi, Alessandro, 1205
 Nanni, Mirco, 1041
 Napolitano, Giorgio, 1229
 Nardelli, Enrico, 1055, 1071-1072, 1079-1080, 1096
 Nardi, Daniele, 879, 947-948, 960, 964, 972-975, 977, 1072-1073
 Nardini, Franco Maria, 1033, 1038
 Narducci, Fedelucio, 1042
 Nascimbeni, Fabio, 1265, 1267
 Naur, Peter, 876-877
 Navarin, Nicolò, 1030, 1043-1044
 Navigli, Roberto, 994-995, 999
 Nebbia, Luciano, 1193
 Nederhof, Mark-Jan, 992, 998
 Negrini, Roberto, 1291
 Negroponte, Nicholas, 1204
 Neri, Filippo, 1018, 1028-1029, 1034, 1041, 1043-1044
 Nerozzi Bellman, Patrizia, 1143
 Neumann, Peter, 880
 Newell, Allen, 933, 935, 941, 948
 Newman, Robert, 983
 Nguembang Fadja, Arnaud, 1033, 1044
 Nicolais, Luigi, 1068, 1070, 1261-1262
 Nicole, Sandro, 1026
 Nielsen, Mogens, 913, 916, 927
 Nielson, Hanne R., 882
 Nilsson, Nils, 935
 Noiret, Serge, 1137
 Nolfi, Stefano, 1026
 Norvig, Peter, 932, 961, 976
 Novick, Oliver, 1205
 Numerico, Teresa, 936, 974, 1133, 1144
 Nutt, Werner, 974
 Nuttin, Marnix, 1037
 Nygaard, Kristen, 877, 880, 888
 Nyhan, Julianne, 1128, 1144

 O'Reilly, Tim, 1135, 1144
 Oberle, Daniel, 946, 975
 Occhini, Elio, 1189
 Occhini, Giulio, 1057, 1109-1110, 1122-1123, 1185, 1187-1188, 1207, 1237, 1292
 Ockam, William of, 1007, 1044
 Oddi, Angelo, 969, 973, 976
 Oliver, Andrew Nicholas, 1253
 Oliver, Philip Edward, 1253
 Olivetti, Camillo, 1170
 Olivetti, Roberto, 1170
 Onesto, Nello, 972
 Oneto, Luca, 1043
 Onorato, Ettore, 1050
 Orlandi, Alessio, 1236
 Orlandi, Tito, 1128, 1130-1132, 1136-1137, 1144
 Orlando, Salvatore, 1033, 1042
 Orsini, Francesco, 1034, 1044
 Osindero, Simon, 1009, 1042
 Ottaviano, Giuseppe, 1236
 Ovaska, Seppo, 1045
 Ozair, Sherjil, 1041

 Pacini, Giuliano, 942-943, 976, 996
 Pacinotti, Antonio, 1167
 Padovani, Luca, 924
 Padovano, Matilde, 1236
 Pagello, Enrico, 942, 951

Palamidessi, Catuscia, 879-883, 885-888, 923
 Palazzolo, Nicola, 1136-1137
 Palopoli, Luigi, 967, 973
 Panattoni, Carlo, 1050
 Panella, Massimiliano, 1044
 Paolini, Giovanni, 1232
 Paoloni, Andrea, 990
 Paolucci, Umberto, 1204
 Papert, Seymour, 938, 945, 1009, 1043
 Papetti, Sergio, 1192
 Pappalardo, Luca, 1032, 1044
 Paraboschi, Stefano, 1072
 Parisi, Domenico, 986, 989, 1026
 Park, David, 899, 927
 Parmar, Niki, 1045
 Parnas, David Lorge, 915, 927
 Parry, Ross, 1175
 Pasa, Luca, 1030, 1044
 Passarotti, Marco, 1128, 1144
 Passerini, Andrea, 966, 1042
 Pasteris, Vittorio, 1169
 Patrizi, Fabio, 879, 974
 Patti, Viviana, 972
 Pavlov, Ivan, 1004, 1044
 Payedimarri, Anil, 1044
 Paziienza, Maria Teresa, 988-989, 992, 998-999, 1024, 1034, 1045
 Peddle, Charles Ingerham, detto Chuck, 1241
 Pedreschi, Dino, 879, 883, 885, 888, 1030, 1032, 1038, 1041, 1044, 1057
Penge, Stefano, 1147-1148, 1171, 1175, 1291
 Perego, Raffaele, 1033, 1042
 Pérez, Jorge A., 928
 Perlis, Alan Jay, 1053
 Perotto, Pier Giorgio, 1163, 1170, 1212
 Perri, Simona, 975
 Perschke, Sergei, 1192
 Persico, Mario, 1192
 Pesic, Maja, 976
 Peterson, James L., 919, 921, 927
 Petri, Carl Adam, 892, 895-897, 899, 901, 904-905, 908-909, 912-913, 916-917, 919, 921, 923-928, 1033, 1039, 1044
 Petrioli, Renato, 957
Petrocelli, Carla, 1115, 1147, 1156, 1291
 Petrone, Luigi, 1053, 1193
 Pfeifer, Gerald, 975
 Piaget, Jean, 1004, 1044
 Pianesi, Fabio, 989, 992, 998
 Piatetsky-Shapiro, Gregory, 1016
 Picchi, Eugenio, 1133
 Piccialli, Francesco, 1034, 1039
 Picone, Mauro, 939-940, 1048, 1050, 1062, 1119, 1171, 1285
 Piedeleu, Robin, 917, 925
 Pienovi, Caterina, 1187
 Pieraccini, Roberto, 990
 Pinardi, Stefano, 1040
 Pinelli, Fabio, 1041
 Pinna, Michele, 923
 Pio, Gianvito, 1035, 1044
 Piol, Elserino, 1050-1051
 Piola, Roberto, 1037
 Piras, Donatella, 986
 Pirlo, Giuseppe, 1072, 1076
 Pirri, Fiora, 947, 971
 Pistore, Marco, 919, 923, 927, 953, 973
 Pitts, Walter Harry, 1008, 1043
 Piva, Antonio, 1291
 Piva, Francesco, 1050
 Plotkin, Gordon D., 899, 913, 927-928, 944, 1013, 1015, 1044
 Poccianti, Piero, 956-957
 Poggi, Antonella, 961, 976, 1175
 Poggio, Tomaso, 937
 Policella, Nicola, 969, 973, 976
 Pontil, Massimiliano, 1039
 Portinale, Luigi, 1044
 Possa, Guido, 1068
 Pouget-Abadie, Jean, 1041
 Prabakaran, N., 1012, 1044
 Preti, Giulia, 1035, 1044
 Priami, Corrado, 924
 Priese, Lutz, 916, 927
 Prinetto, Paolo Ernesto, 1067-1068, 1071-1072, 1081, 1083
 Prini, Gianfranco, 943-944, 949, 971
 Prisciandaro, Francesca, 1044
 Probst, David K., 927
 Prodanof, Irina, 985-986
 Prodi, Romano, 954-955, 1187
 Profumo, Francesco, 1229
 Protasi, Marco, 1025
 Psaila, Giuseppe, 1036
 Pugliese, Rosario, 924
 Puliafito, Antonio, 1071, 1091
 Puliafito, Pier Paolo, 951
 Quaglia, Paola, 924
 Quentin, Dom Henri, 1131, 1144
 Quillian, Ross, 946
 Quinlan, Ross, 1018, 1044
 Rabenau, Erhard, 973
 Rabin, Michael, 945
 Rambow, Owen, 992, 998
 Ramundo, Davide, 884
 Rangone, Andrea, 1208
 Ranzato, Francesco, 880-882, 886-887
 Raphael, Bertram, 935
 Ravizza, Graziano, 1027
 Re, Matteo, 1038
 Redavid, Domenico, 1174
 Reisig, Wolfgang, 895, 909, 912, 916, 921, 926, 928
 Reiter, Raymond, 943, 946-948, 974, 976
 Renso, Chiara, 1041
 Revilla, Miguel A., 1237
 Ribero, Marco, 1236
 Ricci, Fausto, 1192
 Ricci, Francesco, 1024
 Ricciardi, Mario, 1133, 1144
 Riccio, Francesco, 972
 Richard, Ubaldo, 1192
 Richardson, Matt, 1019, 1039
 Richeldi, Marco, 1030
 Ricotti, Jurij Gianluca, 1241, 1257
 Righetti, Marco, 1204
 Rigutini, Leonardo, 1039
 Riguzzi, Fabrizio, 959, 966, 972, 976, 1030, 1033, 1037, 1039, 1042, 1044
 Rinaldi, Fabio, 998
 Rinzivillo, Salvatore, 1041, 1044
 Riondato, Matteo, 1036, 1044
 Ristori, Gioia, 923
 Rivoira, Silvano, 943, 974, 987, 996
 Rizzi, Alessandro, 1031, 1038
 Rizzo, Giuseppe, 1035, 1044
 Robinson, John Alan, 872-873, 874, 888, 941
 Robinson, Peter, 1143
 Rochester, Nathaniel, detto Nathan, 976, 1140
 Rockwell, George, 1128, 1144
 Rodriguez-Artalejo, Mario, 881-882
 Rojas, Raúl, 1119, 1123, 1175
 Roman, Zajcew, 1205
 Romano, Aldo, 1062
 Romano, Giovanni, 1024, 1038
 Romano, Giulia, 973
 Romano, Luigi, 1071
 Roncaglia, Aurelio, 1129
 Roncaglia, Gino, 1137
 Ronchi della Rocca, Simona, 1163
 Rosati, Riccardo, 973, 976
 Roscoe, Andrew William, detto Bill, 895, 928
 Rosenblatt, Frank, 938, 1008-1009
 Rosenfeld, Jack L., 927
 Rosselli Del Turco, Roberto, 1137
 Rossi, Emanuele, 1236
 Rossi, Francesca, 921, 923, 927, 956, 968, 972, 976
 Rossi, Sabina, 880-883, 885, 888
 Rossotto, Mauro, 1030
 Roussel, Philippe, 873, 886
 Roveri, Marco, 953, 973
 Rovina, Daniela, 1229
 Roy, Rajkumar, 1045
 Rozenberg, Grzegorz, 881, 909, 921, 925, 928
 Ruberti, Antonio, 938
 Rubín, Sasha, 969, 972
 Rudolph, Ekkart, 895, 928
 Rufino, Marco, 1137
 Ruggieri, Salvatore, 1032, 1041, 1044
 Ruggiero, Riccardo, 1205
 Rullent, Claudio, 986, 990, 997
 Rullo, Pasquale, 967
 Rumbaugh, James, 909, 928
 Rumelhart, David E., 959, 1009, 1044
 Russell, Stuart, 932, 961, 976
Russo, Stefano, 1055, 1059, 1067-1068, 1070-1072, 1252, 1291
 Rutten, Jan J.M.M., 884, 887, 899, 928
 Ryska, Norbert, 1174
 Saba, Umberto, 1134
 Sabadini, Nicoletta, 916, 924, 927
 Saccà, Claudio, 966, 974
 Saccà, Domenico, 957, 967, 976, 1291
 Sacerdoti, Giorgio, 936, 1048, 1051-1052, 1054, 1181, 1183, 1210, 1292
 Saetti, Alessandro, 968, 975
 Saglietti, Luca, 1037
Saitta, Lorenza, 943, 974, 985, 990, 997, 1003, 1016, 1018-1021, 1023-1024, 1026, 1028-1034, 1037, 1039-1045, 1292
 Sala, Fulvia, 1057, 1188-1189
 Sale, Claudio, 1017-1018, 1028, 1041
 Salis, Matteo, 1040
 Salvatori, Mario, 1188
 Samarati, Pierangela, 1052, 1206
 Sami, Mariagiorgina, 1292
 Sammartino, Matteo, 895, 917, 924-925
 Sammut, Claude, 1018, 1045
 Sampietro, Marco, 1189
 Samuel, Arthur, 933, 1008, 1013, 1045
 Samways, Brian, 1057
 Sanchez, Elie, 1042
 Sandewall, Erik, 934, 942
 Sangiorgi, Davide, 895, 899, 923, 928
 Santaroni, Federico, 1221
 Santececca, Domenico, 1188
 Santi, Gianoberto, 1051, 1191
 Sardu, Giuseppe, 879, 888
 Sartini, Dario, 948, 971
 Sartor, Gabriele, 1040
 Sassone, Vladimiro, 913, 916, 921, 923, 926-927
 Satta, Giorgio, 989, 991-992, 995, 997-999
 Savastano, Giorgio, 1051
 Savoca, Giuseppe, 1131
 Savy, Carlo, 1068, 1070, 1073
 Scagliola, Carlo, 990, 1193
Scalzo, Emanuela, 1056, 1108-1109, 1179, 1292
 Scarabottolo, Nello, 1057, 1232
 Scarcello, Francesco, 967-968, 975
 Scarselli, Franco, 966
 Scaruffi, Piero, 952
 Schaefer, Andrea, 960
 Schaefer, Marco, 947, 956-957, 973, 977
 Schank, Roger, 984
 Schapire, Robert, 1040
 Scheer, August-Wilhelm, 908, 928
 Schgör, Paolo, 1056
Schiaffonati, Viola, 1054, 1103, 1109-1111, 1292
 Schmidhuber, Jürgen, 1009, 1012, 1042, 1045
Schreiber, Fabio Alberto, 1053, 1103, 1107-1108, 1110-1111, 1292
 Schreiberman, Susan, 1136, 1144
 Schulster, Jonathan, 973
Scovazzi, Mario, 1259, 1292
 Scozzari, Francesca, 880, 882
 Selinger, Peter, 895, 917, 928
 Semerano, Giovanni, 1050
 Serafini, Luciano, 966, 972
 Serina, Ivan, 968, 975
 Serpico, Sebastiano, 1043
 Serra, Angelo, 943, 974, 987, 996
 Serra, Roberto, 956, 960, 977
 Sestero, Dario, 992, 998
 Sette, Marcello, 1038
 Seys, Deborah, 1044
 Sgrosso, Ugo, 1190
 Shannon, Claude Elwood, 933, 939, 964, 976, 982, 1140
 Shapire, Robert, 1017, 1045
 Shapiro, Ehud, 875, 888

Shatner, William, 1248
 Shazeer, Noam, 1045
 Shustek, Leonard J., detto Len, 1174-1175
 Siemens, Ray, 1136, 1144
 Siewiorek, Daniel, 1195
 Signorini, Alessio, 1227, 1236
 Silva, Ricardo, 1042
 Simard, Patrice, 1011, 1037
 Simi, Maria, 943, 948-949, 951, 972, 1057
 Simini, Filippo, 1044
 Simon, Herbert, 933, 935, 941, 948
 Sinclair, Clive Marles, 1243, 1256
 Sirovich, Franco, 942-943, 974-975, 985
 Sisto, L., 997
 Skiena, Steven S., 1237
 Smaus, Jan Georg, 883
 Smith, Einar, 921, 928
 Smith, Stephen F., 976
 Smolka, Scott A., 927
 Sobocinski, Pawel, 916-917, 925, 928
 Soda, Giovanni, 941, 951, 960, 966, 974-975, 1026, 1040
 Solarna, David, 1043
 Solomonoff, Ray, 1013, 1045
 Somalvico, Marco, 941-943, 951, 955, 961, 967, 971, 975, 985-988, 996-997
 Somenzi, Vittorio, 936, 938, 977
 Sorrenti, Domenico, 1027
 Sottsass Jr., Ettore, 1168, 1175
 Spada, Hans, 1019
 Spadavecchia, V.N., 943, 974, 987, 996
 Spampinato, Daria, 1142
 Spanedda, Luigino, 878, 886
 Speranzini, Carlo, 1136-1137
 Sperduti, Alessandro, 960, 974, 977, 1026, 1030-1031, 1040-1041, 1043-1045
 Spicer, Dag, 1175
 Spranger, Michael, 972
 Staab, Steffen, 946, 975, 1039
 Stahl, Christian, 908, 925
 Stallman, Richard M., 1267
 Stanca, Lucio, 1260-1261
 Starita, Antonina, 960, 972, 977, 1029-1030, 1045
 Steels, Luc, 985
 Sterling, Leon, 875, 888
 Stock, Oliviero, 941, 950, 953, 955-957, 959, 971, 977, 979, 984-987, 989-990, 992-993, 996-999, 1130, 1293
 Stone, Peter, 972
 Stoppelli, Pasquale, 1133, 1144
 Storari, Sergio, 976, 1039
 Strapparava, Carlo, 989, 992, 999
 Strappato, Barbara, 1293
 Striani, Manuele, 1042
 Stringa, Luigi, 953, 957, 989, 1024
 Stützel, Thomas, 1028, 1039
 Supnik, Robert M., detto Bob, 1174
 Suriani, Vincenzo, 965, 972, 977
 Sutton, Richard, 1017, 1045
 Taentzer, Gabriele, 895, 926
 Tagarelli, Andrea, 1036, 1041
 Tagliasco, Vincenzo, 970

Tagliavini, Carlo, 1129, 1130, 1143
 Tamburrini, Guglielmo, 1293
 Tammaro, Anna Maria, 1136-1137, 1139
 Tarabella, Leonello, 1168, 1175
 Taraglio, Sergio, 1025
 Tarski, Alfred, 982
 Tascini, Guido, 1026
 Taskar, Ben, 1019, 1041
 Tasso, Carlo, 989, 997
 Tavoni, Mirco, 1137
 Tchou, Mario, 1206, 1213
 Tecuci, Gheorghe, 1037
 Teh, Yee-Whye, 1009, 1042
 Tendola, Andrea, 1169
 Terenziani, Paolo, 972, 988, 992, 998
 Termini, Settimo, 1293
 Thatcher, James, 944
 Theraulaz, Guy, 1028, 1038
 Theseider Dupré, Daniele, 952, 972, 974, 1037
 Tiberghien, Andrée, 1018, 1029, 1043-1044
 Tiberio, Paolo, 1185
 Tiezzi, Francesco, 924
 Tini, Simone, 924
 Tison, Sophie, 883
 Toffoli, Giovanni, 986
 Tofte, Mads, 876, 888
 Tomasi, Francesca, 1128, 1130, 1133, 1135-1137, 1142, 1144
 Torasso, Pietro, 943, 948, 952, 956, 974, 985-988, 997, 1016, 1021, 1042
 Torre, Luigia, 879
 Torre, Vincent, 937
 Torroni, Paolo, 971
 Toti Rigatelli, Laura, 1116
 Trabb Pardo, Luis, 888
 Tramiel, Jack, 1243-1244
 Trasarti, Roberto, 1041
 Trautteur, Giuseppe, 970, 977
 Traversini, Renzo, 1206
 Traverso, Paolo, 947, 953, 973, 975
 Trevisan, Myriam, 1143
 Tricomi, Chiara, 883, 888
 Troina, Angelo, 924
 Trump, Donald, 1265-1266
 Tuosto, Emilio, 919, 923, 926
 Turi, Daniele, 880, 883, 899, 917, 926, 928
 Turing, Alan Mathison, 885, 895, 932, 936, 939, 964, 980, 982-983, 1011, 1048, 1053, 1140-1141
 Turini, Franco, 879, 883, 885, 942-943, 976, 996, 1030, 1032, 1041, 1044,
 Turrini, Davide, 1175
 Uberti Foppa, Stefano, 1207
 Uggè, Albino, 1050
 Uggeri, Matteo, 1265, 1267
 Uhrlik, Carl, 1025
 Unsworth, John, 1136, 1144
 Uszkoreit, Jakob, 1045
 Vacca, Roberto, 1050, 1056
 Vaccari, Ermينيا, 951
 Vaccarino, Giuseppe, 938

Vaglini, Gigliola, 923
 Valentini, Giorgio, 1034, 1038
 Valiant, Leslie, 1016, 1018, 1045
 Valsesia, Stanislao, 1129
 van der Aalst, Will M.P., 976
 van Emden, Maarten H., 873, 888
 van Glabbeek, Rob J., 917, 926
 van Hee, Kees M., 925
 Van Hentenryck, Pascal, 881
 Van Orman Quine, Willard, 982
 Van Tran, Dinh, 1043
 Vanhaecht, Kris, 1044
 Vanneschi, Marco, 878, 888
 Vapnik, Vladimir, 1017, 1039
 Vardanega, Tullio, 1072
 Vardi, Moshe Y., 969, 972, 974, 976
 Varricchio, Giovanna, 1040
 Vaswani, Ashish, 1012, 1045
 Velardi, Paola, 988-989, 991-992, 998-999, 1024, 1034, 1044
 Vella, Flavio, 1095
 Veloso, Manuela, 972
 Venneri, Betti, 924
 Ventre, Giorgio, 1068, 1080
 Venturini Zilli, Marisa, 879
 Vere, Steven, 1013, 1015, 1045
 Vergara Caffarelli, Roberto, 1166
 Vergari, Antonio, 1035, 1045
 Verhoeff, Tom, 1233
 Vernazza, Gianni, 1024
 Versari, Luca, 1236
 Villani, Marco, 960, 977
 Vinchesi, Carlo, 989, 997
 Vitiello, Giuliana, 882, 886
 Vogler, Walter, 921, 928
 Vollaro, Lucio, 1192
 Volpe, Paolo, 880, 886
 von Anrep, Gleb, 1044
 von Bochmann, Gregor, 927
 von Braitenberg, Valentino, 937
 von Neumann, John, nato János Lajos Neumann, 932-933, 939
 Voronkov, Andrei, 883
 Vosniadou, Stella, 1044
 Vouillon, Jerome, 876
 Walker, David, 895, 925, 928
 Walters, Robert F.C., 916, 924, 927
 Wang, Jiacun, 921, 928
 Warde-Farley, David, 1041
 Warren, David S., 874, 882, 884, 888
 Watson, Thomas John, 981, 1128
 Wehrstedt, Luca, 1232
 Weijland, W.P., 895, 925
 Weizenbaum, Joseph, 941, 980, 996
 Weldin, Nicholas Robert, 1267
 Werbos, Paul, 1009, 1045
 Weske, Mathias, 908, 927-928
 Weyhrauch, Richard W., 942-944, 946-948, 971
 Wiener, Norbert, 933, 937-939, 1049
 Wiesel, Torsten N., 1011, 1042
 Wiklicky, Herbert, 884
 Wilkes, Maurice Vincent, 1050

Wilks, Yorick, 985
 Williams, Michael, 1175
 Winograd, Terry, 880, 941, 983
 Winsborough, Will, 881, 886
 Winskel, Glynn, 895, 913, 927-928
 Winston, Patrick, 1013-1015, 1045
 Wirsing, Martin, 881, 884
 Wirth, Niklaus, 880
 Wolkenstein, Nicola, 878, 886
 Wolpert, David, 1007, 1017, 1045
 Woods, William, 983
 Xiang, Xie, 1043
 Xu, Bing, 1041
 Yakovlev, Alexandre, 909, 928
 Yankelevich, Daniel, 923
 Yershov, Andrei P., 879
 Yujun, Wang, 1043
 Zadeh, Lotfi Aliasker, 1045
 Zampolli, Antonio, 938, 981, 985, 993, 1130, 1135, 1143, 1144
 Zanarini, Gianni, 960, 977
 Zanasì, Fabio, 917, 925
 Zancanaro, Massimo, 991-992, 999
 Zaniolo, Carlo, 967, 976
 Zanolli, Giacomo, 1206
 Zanzottera, Fabio, 1229
 Zarrì, Gian Piero, 1131, 1144
 Zavattaro, Gianluigi, 924
 Zecchina, Riccardo, 1037
 Zeigler, Alessandro, 1206
 Zese, Riccardo, 976
 Zlatuska, Jiri, 882
 Zloof, Moshe, 880
 Zucca, Tarcisio, 1190
 Zucker, Jean-Daniel, 1018, 1032, 1043, 1045
 Zumpano, Ester, 967, 975
 Zunino, Roberto, 924

Autori

Maristella Agosti

Professoressa emerita di Sistemi di elaborazione delle informazioni dell'Università degli Studi di Padova ove ha costituito nel 1987 il primo gruppo di ricerca italiano di Information Retrieval. Coordinatrice del GdL Storia dell'Informatica e già del GLIR di AICA. Vincitrice dello Strix Award (2016).

Paolo Atzeni

Professore di Basi di dati all'Università Roma Tre, attualmente in aspettativa in quanto dirigente presso l'Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale. È stato vicepresidente del VLDB Endowment, Presidente dell'Associazione EDBT nonché Presidente del GII, Gruppo di Ingegneria Informatica.

Giorgio Ausiello

Professore emerito di Ingegneria Informatica a La Sapienza, Roma. È uno dei fondatori dell'EATCS (Associazione Europea di Informatica Teorica) e membro dell'Accademia Europaea. Tra le sue opere: *Complexity and Approximation* 1999, *The Power of Algorithms* 2013, *The Making of a New Science* 2018, Springer; *Algoritmi, monaci e mercanti* 2022, Codice.

Elia Bellussi

Senior strategy and innovation officer in EGI Foundation e professore a contratto presso il Dipartimento di Management dell'Università di Torino. Fondatore e Presidente del Museo Piemontese dell'Informatica - MuPIIn (O.d.V.): organizza l'Ada Lovelace Day italiano e Coder-Dojo Torino.

Paola Bertolazzi

Laurea in Elettronica, ricercatore e dirigente di ricerca al CNR dal 1982, direttrice dello IASI-CNR dal 2009 al 2015. Temi: Algoritmi, Teoria dei Grafi, Machine Learning. Fonda il gruppo di bioinformatica dello IASI nel 2005 a cui ancora partecipa come associata CNR in attività di formazione e di ricerca.

Flavio Bonfatti

Laurea in Ingegneria Elettronica, è stato ricercatore e poi direttore del CIOC-CNR. Dal 1983 professore associato a Bologna e poi a Modena dove ha insegnato Ingegneria del Software e Informatica Industriale. Ha promosso numerosi progetti europei nel campo delle reti di imprese e della logistica.

Paola Bonizzoni

Professoressa ordinaria di Informatica presso il Dipartimento di Informatica Sistemistica e Comunicazione dell'Università di Milano-Bicocca. Dal 2020 coordina progetti MSCA-RISE e ITN su temi della Pangenomica Computazionale in Bioinformatica. Dal 2016-2020 è stata Presidentessa di Computability in Europe.

Elena Borgi

Laureata in lettere, autrice di saggi di argomento storico e biblioteconomico. Responsabile della biblioteca e dell'archivio storico dell'Accademia delle Scienze di Torino; ha coordinato diversi progetti (dalla digitalizzazione alla valorizzazione dei fondi archivistici conservati).

Roberto Bruni

Professore di prima fascia presso l'Università di Pisa. Specializzato in linguaggi di programmazione, sistemi logici e di riscritture, teoria della concorrenza e analisi di processi; ha collaborato con più di 100 colleghi alla scrittura di oltre 150 articoli scientifici e di 3 libri.

Marina Buzzoni

Ordinaria di Filologia germanica e Presidentessa del Sistema Bibliotecario dell'UCF Venezia. Ha fatto parte del Nucleo di Valutazione, Presidio di Qualità, Senato Accademico. Presiede AIUCD e il SAB di CLARIN. È autrice di sei monografie e vari articoli, nonché PI di progetti digitali.

Alberto Cammozzo

Consulente informatico e project manager oltre che docente e ricercatore indipendente presso l'Università degli Studi di Padova. Ricerca nelle intersezioni tra tecnologie e società: *free software*, comunità di pratica, *e-democracy*, *smart cities*, biometria, semiotica, informatica storica.

Virginio Cantoni

Professore emerito dell'Università di Pavia, ex preside di Ingegneria, distaccato ai Lincei nel triennio 2008-2011. Autore di 350 pubblicazioni, 6 libri e 32 curati sul riconoscimento di forme. È Life Fellow IEEE e Fellow IAPR, AAIA, AIIA. È Commendatore della Repubblica Italiana.

Luigia Carlucci Aiello

Dagli anni Settanta si occupa di intelligenza artificiale, prima come ricercatrice all'IEI-CNR Pisa, poi ordinaria a La Sapienza, Università di Roma. Socia onoraria della AIxIA, ha ricevuto molti riconoscimenti internazionali, un dottorato *honoris causa* ed è Ambasciatrice Sapienza.

Andrea Carmineo

Primo dirigente tecnico della Polizia di Stato. Impegnato per anni presso l'Ufficio Operativo della P.S. a supporto di indagini informatiche, ha sviluppato esperienza nel campo forense/cybersecurity. È dedito alle attività di prevenzione e pubblicazione tecnica su riviste specializzate.

Maria Chiara Carrozza

Professoressa ordinaria di Bioingegneria Industriale dell'Università di Milano-Bicocca, già Presidente CNR. Dal 2024 Presidente dello European Science Advisors Forum (ESAF). 2024: Chair del Network G6 della Ricerca. 2013-2018: membro del Parlamento italiano e della Commissione Affari Europei ed Esteri. 2013-2014: Ministro dell'Istruzione, Università e Ricerca. 2007-2013: Rettore della Scuola Superiore Sant'Anna.

Andrea Celli

Ricercatore associato senior dell'IAC-CNR, collabora con l'Istituto fondato da Mauro Picone per ricostruirne la storia e per riordinarne l'archivio storico. Come un trovarobe si diverte più nel cercare informazioni perdute che nel pubblicare i risultati in articoli e monografie.

Paolo Ciancarini

Professore ordinario dell'Università di Bologna, dove insegna Ingegneria del Software, Sistemi Distribuiti, e Metodi Informatici per la Trasformazione Digitale. È associato all'Istituto di Science e Tecnologie della Cognizione del CNR, socio di ACM e di AICA, membro GA IFIP.

Giovanni A. Cignoni

Informatico e ingegnere, dal 1993 è impegnato nella consulenza strategica e nel trasferimento tecnologico; ha pubblicato, lavorato in progetti di ricerca internazionali e insegnato presso l'Università di Pisa, l'Università degli studi di Firenze e l'Università degli studi di Padova. Studia la Storia dell'Informatica per passione, dal 2015 la insegna presso l'Università di Pisa.

Aniello Cimitile

Professore emerito di Ingegneria del Software. Preside della Facoltà di Ingegneria e Rettore dell'Università del Sannio. Presidente del GII, Gruppo di Ingegneria Informatica. Dal 1997 al 2012 editor del Journal of Software Maintenance Research and Practice, J. Wiley&Sons. Ha presieduto e diretto numerosi centri e progetti di ricerca nazionali e internazionali.

Marco Cristanini

Consegue la Laurea Magistrale in Informatica presso l'Università degli Studi di Verona nel 2010. Dal 2016 è curatore del Museo di Storia dell'Informatica del Dipartimento di Informatica dell'Ateneo scaligero. È titolare di una ditta per il recupero e il ripristino di beni storici tecnologici a fini museali.

Roberto Dadda

Insegna Ergonomia applicata alla usabilità delle interfacce, presso la Scuola del Design, Politecnico di Milano. Ingegnere chimico si è occupato dell'impiego di calcolatori al controllo di impianti chimici e di sistemi di supporto alla vita. Oggi è attivo nella progettazione di interfacce usabili.

Ernesto Damiani

Professore ordinario di Informatica presso l'Università degli Studi di Milano. Ha avuto incarichi di direzione in grandi strutture di ricerca internazionali nel settore dei sistemi intelligenti, della gestione dei dati e della sicurezza, attività per le quali è stato insignito dell'Ordine della Stella d'Italia. È stato Presidente del CINI dal 2019 al 2025.

Antonio De Giorgo

Fisico. Insegna per 12 anni Scienze dell'Informazione a Bari; svolge collaborazioni scientifiche internazionali; guida grandi società di ICT e Impiantistica, tra cui Tecnopolis (2003-06) che lascia, conclusa l'operazione di rilancio.

Ivo De Lotto

Laureato in Elettrotecnica a Padova (1958), ha lavorato nell'elettronica digitale al CNR, CISE, Euratom, Università di Bologna e Pavia. Libero docente (1965), professore ordinario di Informatica (1971), direttore di Istituto, preside della Facoltà d'Ingegneria di Pavia. Ha fondato e diretto il CILEA. Presidente AICA (2004-06). Dal 2010 professore emerito.

Floriana Esposito

Già ordinaria di Sistemi di elaborazione delle informazioni, Università degli Studi di Bari. 1989: fondatrice e responsabile del LACAM - Laboratorio Acquisizione Conoscenza e Apprendimento nelle Macchine, Dipartimento di Informatica. Fellow ECAI dal 2006.

Giovanni Felici

Laureato in Statistica, completa il dottorato di ricerca nel 1996 e percorre la carriera completa nello IASI-CNR, diventando dirigente di ricerca nel 2019. Svolge attività di ricerca in Ricerca Operativa, Machine Learning, Intelligenza Artificiale, Bioinformatica. Dal 2022 è direttore dello IASI.

Stefano Ferilli

Professore ordinario di Informatica, responsabile scientifico del Museo di Informatica, già direttore del Centro Interdipartimentale di Logica e Applicazioni, Università degli Studi di Bari. Applica tecniche di IA basate su conoscenza per la conservazione e lo studio della Storia dell'Informatica.

Marco Ferretti

Laureato in Ingegneria Elettronica (1974) e ordinario di Sistemi di Elaborazione dell'Informazione dal 1994 all'Università di Pavia; insegna Basi di Dati e Advanced Computer Architecture. Ha svolto attività per IAPR, GIRPR, CINI e CINECA. Ha due brevetti internazionali e oltre 130 pubblicazioni.

Nicola Ferro

Professore ordinario di Ingegneria informatica presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Padova. I suoi interessi di ricerca riguardano il reperimento dell'informazione, la gestione e rappresentazione dei dati e la valutazione sperimentale.

Franco Filippazzi

Laureato in fisica all'Università di Pavia, ha svolto un ruolo pionieristico nell'informatica italiana. Fece parte, infatti, del ristretto gruppo di ricercatori che progettò l'Elea della Olivetti, un elaboratore elettronico all'avanguardia mondiale, messo sul mercato nel 1959.

Gian Luca Foresti

(IAPR Fellow, AAIA Fellow, IEEE Senior), professore ordinario di Informatica all'Università di Udine. Direttore dell'Artificial Vision and Real-Time System Lab (AVIRES) e direttore del Master in Intelligence and Emerging Technologies.

Arrigo Frisiani

Dal 1963 al 2009 professore di Calcolatori Elettronici presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Genova; dal 1993 al 2001 direttore editoriale della Rivista di Informatica e dal 1974 al 2023 direttore della Collana di Informatica dell'editore FrancoAngeli.

Carlo Ghezzi

Professore emerito di Ingegneria del Software presso il Politecnico di Milano. ACM Fellow, IEEE Fellow, membro di European Academy of Sciences e dell'Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere. ACM SIGSOFT Outstanding Research Award, ACM SIGSOFT Distinguished Service Award, IEEE TCSE Distinguished Education Award.

Giuseppina Gini

Laureata in Fisica all'Università di Milano, già ricercatrice presso la Stanford University e docente di robotica al Politecnico di Milano. Interessata alla robotica bioispirata, alla costruzione di modelli dai dati e ai sistemi sensoriali, su cui ha diretto oltre trenta progetti internazionali. ACM featured reviewer.

Ivan Grossi

Già direttore del Dipartimento di Tecnologia dell'informazione del Cineca, già consulente del Ministero degli affari esteri e della Commissione Europea; attualmente componente del comitato di redazione de "L'informazione bibliografica - il sapere nei libri" edita da il Mulino.

Roberto Grossi

Professore ordinario di informatica presso l'Università di Pisa. Ha pubblicato oltre 170 articoli nell'area degli algoritmi, in collaborazione con oltre 100 coautori; è stato visiting researcher presso diverse istituzioni internazionali. Fa parte del comitato nazionale delle Olimpiadi di informatica.

Domenico Laforenza

Ricercatore emerito del Consiglio nazionale delle ricerche. 2008-2019: direttore dell'Istituto di Informatica e Telematica, Pisa. Assunto nel 1972 al Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico, Università di Pisa, poi CNUCE-Istituto CNR. 1981-2008: fonda e dirige HPCLab. 2013-2019: Presidente Area della ricerca CNR, Pisa, e 2014-2017 di ERCIM.

Luigi Laura

Professore associato (ING-INF/05) presso Uninettuno, collabora con le Olimpiadi Italiane di Informatica dal 2005 e dal 2020 è il presidente del comitato. Dal 2022 membro del GdL di Storia dell'Informatica di AICA. Autore del testo "Breve e Universale Storia degli Algoritmi", Luiss UP, 2019.

Andrea Lenzi

Professore Emerito di Endocrinologia, Università di Roma La Sapienza, Presidente del CNR. Presidente del Comitato Nazionale per la Biosicurezza, Biotecnologie e Scienze della Vita della Presidenza del Consiglio dei Ministri; dell'Intercollegio del Settore *Life science*; della Scuola Superiore di Studi Avanzati Sapienza; dell'Health City Think Tank; direttore della Cattedra UNESCO on Urban Health e Portavoce della Rete delle Cattedre Unesco Italiane. Membro del Comitato Scientifico dell'ISS e del CNVR, già Presidente del CUN e del Comitato Nazionale dei Garanti per la Ricerca.

Giorgio Levi

Laureato a Padova 1966; ordinario di Informatica presso l'Università di Pisa; aree di ricerca: semantica, analisi statica, programmazione logica; chairman scientifico di 12 conferenze internazionali; visiting professor presso la New York University e l'ICOT di Tokyo; Ordine del Cherubino.

Fabrizio Luccio

Professore emerito dell'Università di Pisa e professore onorario in due università in Cina. È stato ricercatore presso MIT e IBM in USA, NTT in Giappone, professore in diverse università in USA e Singapore. Per trent'anni ha diretto un progetto di cooperazione in informatica dell'UNESCO. È IEEE Life Fellow.

Giuseppe Mastronardi

Già professore ordinario di Sistemi di elaborazione delle informazioni al Politecnico di Bari. Autore di: *Le Basi dell'Informatica, Sanità Digitale e Privacy*. Presidente AICA 2016-18 e dal 2022 presidente onorario. Dal 2015 membro del Comitato Distretto Produttivo dell'Informatica Pugliese.

Angelo Raffaele Meo

Vincitore del primo concorso a cattedra di Informatica (1971). Direttore del Progetto Finalizzato Informatica (1979-1985). Direttore del Centro Supercalcolo Piemonte (1991-96). Presidente dell'Accademia delle Scienze di Torino (2006-09). Ha ricevuto numerosi premi.

Angela Miola

Manager con esperienza pluridecennale, multidisciplinare e interdisciplinare nelle tecnologie dell'informazione, nell'alta formazione, nel change management, nella trasformazione digitale e nell'innovazione delle organizzazioni pubbliche e private. È Direttore esecutivo del CINI.

Ugo Montanari

Professore emerito all'Università di Pisa. Noto per contributi pionieristici in elaborazione di immagini, programmazione con vincoli e sistemi concorrenti, ha pubblicato 350 articoli e curato 25 volumi. Nel 2005 è stato nominato Grande Ufficiale dell'Ordine al Merito della Repubblica.

Elisabetta Mori

Ricercatrice e storica dell'informatica. Dopo il dottorato presso la Middlesex University di Londra ha collaborato con il Museo degli Strumenti per il Calcolo dell'Università di Pisa e con Software Heritage in Francia. Attualmente è Juan de la Cierva fellow presso l'Università Pompeu Fabra, a Barcellona.

Roberto Negrini

Professore emerito del Politecnico di Milano, per 29 anni è stato professore ordinario di Sistemi di elaborazione delle informazioni. In Politecnico è stato prorettore vicario e preside di Ingegneria. Le sue ricerche riguardano l'architettura dei sistemi digitali. Presidente EUREL, FAST e fondazione FOIST.

Stefano Penge

Laureato in filosofia della scienza (1986). Si è occupato di ricerca e applicazione delle tecnologie digitali per l'apprendimento a partire dal 1992. In seguito, si è specializzato in e-learning (2000) e opendata (2015). Dal 2017 sta costruendo il primo museo del codice sorgente.

Carla Petrocelli

Storica della scienza, laureata in Scienze dell'Informazione, insegna Storia della rivoluzione digitale all'Università di Bari. Specializzata nell'evoluzione del calcolo automatico, si occupa anche di genere e tecnologia. Dal 2023 è membro del GdL Storia dell'Informatica di AICA.

Antonio Piva

Presidente AICA, vicepresidente dell'Associazione nazionale Laureati in Informatica (ALSI) e di UCID Udine; imprenditore e professionista, docente all'Università di Udine, auditor ICDL, esperto di privacy, autore di libri e pubblicazioni, membro del Comitato per le Olimpiadi Italiane di Informatica.

Stefano Russo

Professore ordinario di Ingegneria Informatica dal 2002 presso l'Università di Napoli Federico II, dove guida il gruppo di ricerca sull'ingegneria del software per sistemi critici; dal 2019 Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Information Technology and Electrical Engineering. Vicepresidente CINI dal 2019 al 2025, Presidente CINI per il triennio 2025-2028.

Domenico Saccà

Professore emerito presso l'Università della Calabria, dove ha ricoperto il ruolo di professore ordinario di Sistemi di Elaborazione delle Informazioni dal 1987 al 2021. Dal 1993 coordina lo Steering Committee del SEBD, la conferenza annuale della comunità italiana di basi di dati.

Lorenza Saitta

Già ordinaria di Algoritmi e Strutture Dati, ora professoressa emerita dell'Università del Piemonte Orientale. 1987: fondatrice e responsabile del Gruppo di Ricerca sull'Apprendimento Automatico prima dell'Università di Torino e poi di quella del Piemonte Orientale. EurAI Fellow dal 2002.

Mariagiovanna Sami

Professoressa emerita di Sistemi Digitali presso il Politecnico di Milano. La sua attività di ricerca ha riguardato la progettazione dei sistemi di elaborazione, in particolare quelli con capacità di sopravvivenza ai guasti e basso consumo di potenza. Membro dell'Accademia Nazionale delle Scienze e Cavaliere della Repubblica Italiana.

Emanuela Scalzotto

1984-2001: ruolo di segretaria di redazione in AICA a fianco di Fabio Schreiber e Arrigo Frisiani. Nel 1997, insieme a Franco Filippazzi, Giulio Occhini e Giorgio Sacerdoti, ha contribuito al lancio delle certificazioni ECDL in Italia. Ha curato l'archivio storico AICA, ed è stata eletta nel Consiglio Direttivo 2019-2024.

Viola Schiaffonati

Professoressa associata di Logica e Filosofia della Scienza, Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano. I suoi principali interessi di ricerca comprendono: filosofia dell'IA, epistemologia e metodologia degli esperimenti nell'ingegneria informatica, problematiche etiche dei sistemi autonomi e intelligenti.

Fabio Alberto Schreiber

Professore emerito di Pervasive Data Management e Basi Dati, Politecnico di Milano. Membro dell'editorial board di Data & Knowledge Engineering, già direttore di Rivista di Informatica e membro del consiglio direttivo di AICA di cui è socio onorario. Life Senior Member di ACM e IEEE.

Mario Scovazzi

Laureato in fisica, ricercatore presso il CSP Innovazione nelle ICT, svolge attività di collaborazione e ricerca con il Politecnico di Torino e con l'Università di Torino e in particolare, con il gruppo di open education del Politecnico di Torino.

Oliviero Stock

Distinguished fellow FBK, Trento. Dal 1988 all'IRST, direttore 1997-2001. Precedentemente al CNR. Autore di 280 articoli e editor di 12 volumi. Chairman EURAI (1992-94), Presidente AI*IA (1992-95), Presidente ACL (1996). EURAI Fellow, AAAI Fellow, DFKI Fellow, socio onorario AI*IA, Ph.D. *honoris causa* University of Haifa.

Barbara Strappato

1° Dirigente Ordinario della Polizia di Stato. Dalle indagini informatiche alle attività di prevenzione dai rischi online, cura seminari e pubblicazioni su riviste specializzate. Tra gli articoli: la percezione della (in)sicurezza ai tempi di internet e l'attività proattiva in rete.

Guglielmo Tamburrini

Già ordinario di Logica e filosofia della scienza all'Università di Napoli Federico II, si occupa attualmente di etica del digitale, e in particolare dei nuovi rischi per la pace che derivano dalle applicazioni belliche dell'IA.

Settimo Termini

Fisico, già ordinario di Informatica teorica all'Università degli Studi di Palermo e di Cibernetica all'Università degli studi di Perugia, ha diretto (2002-09) l'Istituto di Cibernetica CNR a Napoli. IFSA Fellow, Vicepresidente di ANSLA, ha introdotto la teoria delle misure di fuzziness, il cui primo lavoro ha avuto più di duemila citazioni.

INDICE

Prefazioni

Andrea Lenzi
Maria Chiara Carrozza

Premessa dei componenti del comitato editoriale

Ivo De Lotto
Domenico Laforenza
Luigi Laura
Giuseppe Mastronardi
Antonio Piva

Introduzione dei curatori dell'opera

Maristella Agosti
Virginio Cantoni

Protostoria

- 1** **Torino 1840: Charles Babbage e Luigi Federico Menabrea al Congresso degli Scienziati Italiani**
Elena Borgi, Angelo Raffaele Meo

Esordi

- 2** **I primi calcolatori, il contesto internazionale e italiano**
Giovanni A. Cignoni
- 3** **L'INAC di Roma e la Ferranti Mk1***
Andrea Celli, Giovanni A. Cignoni
- 4** **La CRC 102A del Politecnico di Milano**
Roberto Dadda
- 5** **Le Calcolatrici Elettroniche Pisane**
Giovanni A. Cignoni
- 6** **La Macchina di Statistica dell'Università di Padova**
Maristella Agosti, Alberto Cammozzo

Formazione, divulgazione e organizzazione dei servizi

- 7** **Didattica informatica a livello universitario**
Marco Ferretti
- 8** **Consorzi e Centri di servizio**
Ivan Grossi

Ricerca informatica nelle università e nei centri di ricerca

- 9** **Il Progetto Finalizzato Informatica**
Angelo Raffaele Meo
- 10** **Storia della nascita degli istituti informatici CNR a Pisa**
Domenico Laforenza
- 11** **La tripla vita dell'Istituto di Cibernetica
"Eduardo Caianiello" del CNR**
Guglielmo Tamburrini, Settimo Termini
- 12** **CSATA - Tecnopoli e i Consorzi di Ricerca nel Sud:
motori di sviluppo**
Antonio De Giorgio
- 13** **Lo IASI: i modelli e l'informatica**
Paola Bertolazzi, Giovanni Felici

Programmi europei di ricerca e sviluppo nel settore delle tecnologie dell'informazione

- 14** **La partecipazione italiana**
Carlo Ghezzi

Indice dei nomi di persona Vol. 1

Linee di ricerca

- 15** **Teoria della computazione
e algoritmi**
Fabrizio Luccio
- 16** **Bioinformatica**
Paola Bonizzoni
- 17** **Informatica teorica in Italia:
origini e primi approcci**
Giorgio Ausiello
- 18** **Information Retrieval**
Maristella Agosti
- 19** **Basi di dati e Big Data**
Paolo Atzeni, Domenico Saccà
- 20** **Le attività sui microprocessori**
Roberto Negrini, Mariagiovanna Sami
- 21** **Elaborazione di immagini,
riconoscimento di forme
e Computer Vision**
Virginio Cantoni, Gian Luca Foresti
- 22** **Robotica**
Giuseppina Gini
- 23** **Interazione uomo-macchina**
Flavio Bonfatti
- 24** **Sicurezza informatica e Privacy**
Giuseppe Mastronardi
- 25** **Storia e ruoli della Polizia Postale
e delle Comunicazioni.
Tra passato, presente e futuro**
Barbara Strappato, Andrea Carnimeo
- 26** **L'ingegneria del software in Italia**
Aniello Cimitile, Carlo Ghezzi

Indice dei nomi di persona Vol. 2

Volume 2

Volume 3

Linee di ricerca

27	Linguaggi di programmazione Giorgio Levi	871
28	Sistemi concorrenti Roberto Bruni, Ugo Montanari	891
29	Intelligenza artificiale, rappresentazione della conoscenza Luigia Carlucci Aiello	931
30	Natural Language Processing in Italia: gli inizi Oliviero Stock	979
31	Apprendimento automatico Floriana Esposito, Lorenza Saitta	1003

Informatica e società

32	Il ruolo di AICA nella ricerca informatica Paolo Ciancarini	1047
33	Il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica (CINI) Ernesto Damiani, Angela Miola, Stefano Russo	1059
34	Le Riviste: Calcolo, Rivista di Informatica, Mondo Digitale Nicola Ferro, Franco Filippazzi, Arrigo Frisiani, Viola Schiaffonati, Fabio Schreiber	1103
35	Specchi di storia dell'informatica: il dibattito storico negli atti dei congressi AICA Carla Petrocelli	1115

36	L'informatica umanistica Marina Buzzoni	1127
37	Collezioni e musei Elia Bellussi, Marco Cristanini, Stefano Ferilli, Elisabetta Mori, Stefano Penge, Carla Petrocelli	1147
38	L'archivio storico dell'AICA Emanuela Scalzotto	1179
39	Le Olimpiadi Italiane di Informatica Luigi Laura, Roberto Grossi	1219
40	L'Informatica in edicola Stefano Ferilli, Luigi Laura	1239
41	Storia di software, hardware e insegnamento liberi in Italia Angelo Raffaele Meo, Mario Scovazzi	1259
	Indice dei nomi di persona Vol. 3	1269
	Autori	1283



Alcune immagini senza didascalie
sono tratte da
pexels.com, freepik.com e pngtree.com

Stampato da Arti Grafiche La Moderna - Guidonia Montecelio (RM)
nel mese di novembre 2025

Copie 500