

I RIFIUTI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE: LCA DELLA DEMOLIZIONE DI 51 EDIFICI RESIDENZIALI

Michele Paleari^{1*}, Andrea Campioli¹

¹Politecnico di Milano, Dipartimento ABC, Milano.

Sommario – La gestione dei rifiuti da demolizione nel settore edilizio è stata recentemente oggetto della Direttiva Europea 2008/98/CE che impone entro il 2020 il riciclo di almeno il 70% del peso dei materiali a fine vita. Circa l'84% del patrimonio edilizio italiano è costituito da immobili residenziali, di cui il 65% è stato costruito tra il 1945 e il 1990, quindi caratterizzato da notevole obsolescenza tecnica e funzionale e passibile di interventi di demolizione o ristrutturazione integrale. In questo contesto si inserisce la valutazione ambientale LCA – Life Cycle Assessment della fase di demolizione e smaltimento di 51 edifici residenziali nella frazione Case Nuove del comune di Somma Lombardo (Va), presso l'aeroporto di Malpensa. L'analisi del processo di demolizione ha visto la possibilità di effettuare un'accurata selezione dei materiali, tale da consentire il trattamento separato del 100% dei rifiuti e di evidenziare la decisa prevalenza degli inerti (97,2%). La gestione dei rifiuti da demolizione del patrimonio consolidato si gioca quindi sul destino dei materiali inerti: nel momento in cui questi vengono avviati al riciclo, la percentuale imposta dalla norma è automaticamente superata mentre nel caso opposto il limite di legge è assolutamente non raggiungibile. La scelta del m² di slp residenziale come unità funzionale evidenzia valori molto bassi degli impatti ambientali relativi alle fasi di demolizione e smaltimento, soprattutto in merito all'energia incorporata, circa 4 kWh/m².

Parole chiave: LCA – Life Cycle Assessment, fase di fine vita, demolizione edifici residenziali, rifiuti da costruzione e demolizione, impatti ambientali rifiuti inerti.

CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE: LCA OF 51 RESIDENTIAL BUILDING DEMOLITION

Abstract – The management of the construction and demolition waste in the building sector was subject of the recent new European Directive 2008/98/CE which implies, within 2020, the recycling of at least the 70% of the material weight at the end of life. About the 84% of the Italian buildings are residential and the 65% of them were built between 1945 and 1990; for this reason, they are characterized by a remarkable technical and functional obsolescence and they probably will undergo to demolition or completely refurbished in the next few years. In this contest, we conducted an environmental assessment (LCA – Life Cycle Assessment) of the demolition and disposal phases of 51 residential buildings in the village of Case Nuove, in the municipality of Somma Lombardo (VA), close to the Malpensa airport. The analysis of the demolition process demonstrated the possibility to carefully select the materials, to allow the dis-

inct final treatment of the whole waste amount, and evidence the predominance of the inert materials (97.2%). Therefore, the demolition waste management of the common buildings depends on the final treatment of the inert materials: if they are sent to the recycling, the percentage set by the rule is automatically overtaken, otherwise the standard target is impossible to achieve. The choice of 1 m² of residential gross floor area highlighted very low values of the environmental impacts resulted from the demolition and the final disposal, particularly about the embodied energy, about 4 kWh/m².

Keywords: LCA – Life Cycle Assessment, End of life phase, Dismantling of residential buildings, Construction and demolition waste, Environmental impacts of inert wastes.

Ricevuto il 8-7-2015. Modifiche sostanziali richieste il 15-9-2015. Correzioni richieste il 11-11-2015. Accettazione il 26-11-2015.

1. INTRODUZIONE

Questo articolo restituisce i risultati di una ricerca condotta sulla natura e sul profilo ambientale dei rifiuti generati nel processo di demolizione di edifici appartenenti al tessuto urbano consolidato, al fine di verificare quale sia l'attuale distanza dei processi di demolizione dall'obiettivo del riciclo di almeno il 70% dei materiali derivanti, calcolato in termini di peso, come la Direttiva Europea 2008/98/CE "relativa ai rifiuti" impone.

Dopo una prima analisi sul contesto europeo e italiano circa le caratteristiche dei rifiuti prodotti e le modalità di gestione, è stata indagata la natura del patrimonio edilizio italiano selezionando un campione di 51 edifici siti nel Comune di Somma Lombardo (VA) e in corso di demolizione perché collocati troppo a ridosso dell'Aeroporto di Malpensa. Di essi sono stati computati le quantità dei materiali di risulta, suddivisi per tipologia, e gli impatti ambientali delle attività di smaltimento, secondo due differenti scenari. Le attività di raccolta, analisi ed elaborazione dei dati relativi al caso studio qui presentato sono state condotte da Beatrice Daverio, Manuela Della Vedova, Jaclyn Santarelli, nell'ambito della tesi di Laurea Magistrale in Architettura, intitolata "Tabula rasa. Demolire in modo consapevole", Politecnico di Milano, Scuola di Architettura e Società, a.a. 2014-2015, relatori Andrea Campioli e Michele Paleari.

* Per contatti: Via E. Bonardi 9, 20133 Milano.
Tel 02.2399.5105. E-mail: michele.paleari@polimi.it.

Tabella 1 – La produzione dei rifiuti speciali in Italia (Ispra, 2015)

TIPOLOGIA DI RIFIUTO	Quantità annuale (t) anno 2013				
	Nord	Centro	Sud	Italia	Italia (%)
Rifiuti speciali non pericolosi esclusi i rifiuti da C&D	43.134.766	13.003.565	18.871.624	75.009.955	57,0%
Rifiuti speciali non pericolosi da C&D	31.450.496	8.417.998	8.071.380	47.939.874	36,4%
Totale rifiuti speciali non pericolosi	74.585.262	21.421.563	26.943.004	122.949.829	
Rifiuti speciali pericolosi	5.823.532	1.225.565	1.607.670	8.656.767	6,6%
Rifiuti speciali con CER non determinato	98	1	304	403	0,0%
Totale rifiuti speciali	80.408.892	22.647.129	28.550.978	131.606.999	100,0%

1.1. La situazione dei rifiuti in Europa e in Italia

I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) sono classificati come rifiuti speciali non pericolosi e, a causa della natura del processo edilizio, sono prodotti in siti molto diffusi sul territorio e di durata temporanea. Sebbene i cantieri edili, oltre che luoghi di “produzione” dei rifiuti, possano essere considerati anche come potenziali luoghi di reimpiego di una parte dei materiali di risulta, la frammentarietà del processo e la mancanza di coincidenza geografica e temporale tra attività di demolizione e attività di costruzione rende spesso difficoltoso, se non impossibile, il riuso in sito dei rifiuti prodotti. Tale prassi è solitamente attuabile, a seguito di una corretta pianificazione delle attività, in cantieri di notevoli dimensioni che prevedano interventi di ristrutturazione urbana. Al contrario, nei cantieri edili correnti e di taglia medio/piccola si procede generalmente al trasferimento dei rifiuti presso centri di raccolta e trattamento.

Nel contesto dell’Unione Europea (UE28), secondo i dati di Eurostat (2012), ogni anno vengono prodotti 2,5 miliardi di tonnellate di rifiuti, di cui il 96% rientra nella classificazione di “rifiuto non pericoloso”. In Italia sono prodotti 162 milioni di tonnellate, di cui 153 milioni di tonnellate di rifiuti non pericolosi.

In Italia, i rifiuti speciali ammontano a 131,6 milioni di tonnellate di cui 123 milioni di tonnellate (93,5%) sono classificati come “non pericolosi”; i rifiuti da C&D non pericolosi ammontano a 48 milioni di tonnellate (36,5%) (Ispra, 2015. Vedi Tabella 1). In merito alla distribuzione nazionale, il 65,6% dei rifiuti non pericolosi da C&D viene prodotto nel Nord Italia e la prima regione è la Lombardia, seguita da Veneto ed Emilia Romagna, sintomo di una correlazione tra attività edilizia e andamento del prodotto interno lordo locale che registra una maggiore dinamicità economica di queste aree. Si sottolinea che il confronto tra i dati relativi al 2013 e quelli ri-

salenti al 2010 evidenziano il maggiore peso della crisi economica sul settore delle costruzioni: la produzione di rifiuti non pericolosi da C&D è scesa del 16,5% mentre la produzione nazionale di rifiuti speciali si è ridotta solo del 4,5%. In alcune regioni, la quantità dei rifiuti da C&D è meno rilevante in termini quantitativi ma ha un’incidenza sul totale dei rifiuti speciali prodotti superiore al 50% (Trentino-Alto Adige, Liguria e Lazio), contro il 40% circa di Lombardia e Veneto. Ciò indica una minore presenza nel tessuto regionale di altri settori produttivi che generano rifiuti, quali le industrie metallurgiche, chimiche e alimentari. In merito alla composizione dei rifiuti speciali non pericolosi, si sottolinea che i minerali costituiscono la prima voce, seguiti dalle terre di scavo.

Il trattamento dei rifiuti speciali prevede per il 71,9% di essi, corrispondenti a 84,1 milioni di tonnellate, il recupero di materia (scomputando gli stoccaggi temporanei) mentre solo il 9,4% viene smaltito in discarica (10,9 milioni di tonnellate); il 66% di questa tipologia di rifiuto viene trattata nelle regioni del Nord Italia (Ispra, 2015). In merito ai rifiuti da C&D purtroppo non è possibile disporre di dati specifici indipendenti dalle informazioni sui rifiuti speciali non pericolosi. Il trattamento con recupero di materia dei rifiuti da C&D consta principalmente nella frantumazione delle macerie e il loro impiego come materiale di bassa qualità per il modellamento del terreno, la copertura delle discariche esaurite e la realizzazione di sottofondi stradali e ferroviari. A queste modalità di riuso del materiale è quindi applicabile la definizione di downcycling che identifica una dequalificazione del rifiuto.

Le strategie messe in atto dall’Unione Europea per affrontare il tema della riduzione degli impatti ambientali dovuti ai rifiuti prevedono quattro azioni: la prevenzione, il riciclo e il riuso, il miglioramento dei processi di gestione del trattamento finale e il monitoraggio dei processi. In questo quadro, la Direttiva Europea 2008/98/CE “relativa ai rifiuti” impone che

entro il 2020 almeno il 70% dei materiali a fine vita vengano riciclati, calcolando la percentuale in termini di peso. Questo obiettivo interessa anche il settore delle costruzioni, contemplando anche le soluzioni di downcycling citate in precedenza.

1.2. *Il fine vita nelle valutazioni Life Cycle Assessment*

Nel corso degli ultimi due decenni sono state condotte svariate decine di studi LCA di edifici ma molti di essi non contemplano un'analisi approfondita della fase di fine vita. Nelle ricerche più datate il motivo è da ricercarsi nella necessità di concentrarsi sulla fase di produzione dei materiali da costruzione come primo approccio al superamento della sola valutazione dei consumi energetici in fase di uso o delle sole esigenze per riscaldamento. In molti casi, specie se riferiti ad edifici convenzionali datati alla seconda metà del secolo scorso, si assume che gli impatti energetici dovuti alle attività di costruzione, demolizione e trasporto dei materiali assommino a solo l'1% del totale della vita intera (Sartori e Hestnes, 2007). In Peuportier et al. (2013) la fase di fine vita viene modellata in modo molto semplice scegliendo il conferimento in discarica per tutti i rifiuti da demolizione e imputando gli impatti di trasporto considerando una distanza di soli 2 km tra l'edificio e il luogo di smaltimento; per questo motivo, nelle conclusioni si segnala l'opportunità di modellare diversi scenari di fine vita nelle valutazioni LCA che intendono occuparsi della scelta e del confronto tra diversi materiali da costruzione. Nel caso studio relativo a due case a schiera costruite nel 2007 con caratteristiche di Passive House e con superficie abitabile di 132 m², i consumi di energia derivanti dall'attività di "demolizione", ovvero dal fine vita degli edifici, è quantificabile in circa 6 kWh/m². Anche nello studio di Iyer-Raniga e Chew Wong (2012) si tiene conto del fine vita dei materiali assumendo lo smaltimento in discarica come unico scenario per tutte le componenti e senza individuare valori di embodied energy e di embodied carbon specifici per questa fase. I bassi impatti della fase di fine vita vengono confermati anche da Tae et al. (2011) che esamina le emissioni di CO₂ considerando i mezzi per la demolizione, i trasporti e gli impatti relativi ai centri di trattamento intermedio e finale. Le distanze considerate sono di 30 km in caso di conferimento diretto e di 40 km in caso di trattamento intermedio mentre le emissioni della fase di demolizione e smaltimento assommano allo 0,26% e all'1,39% rispettivamente per due tipologie di edifici ad appartamen-

ti. Alcune similitudini si ritrovano anche nello studio di Wu et al. (2012) relativo ad un edificio terziario in Cina. Nella fase di fine vita sono stati considerati i consumi di gasolio per le macchine operatrici impiegate nella demolizione, i trasporti su un percorso di 35 km e il conferimento di tutti i rifiuti in discarica. In relazione al ciclo di vita intero, su uno scenario di 50 anni, l'incidenza dell'ultima fase è stata calcolata nello 0,28% per quanto riguarda i consumi di energia mentre le emissioni di CO₂ salgono al 13,67% a causa del deposito in discarica. Secondo Ortiz-Rodriguez et al. (2010) nel confronto tra due edifici simili, uno in Spagna e uno in Colombia, gli impatti di fine vita derivanti dalla demolizione e dal conferimento in discarica dei rifiuti hanno un'incidenza inferiore dell'1-2% su tutti gli indicatori del metodo EPD2008, ad eccezione del potenziale di distruzione dell'ozono stratosferico. Gli impatti sono più rilevanti per l'edificio americano a seguito della minore incidenza dei consumi energetici in fase di uso rispetto al contesto europeo. Anche Sodagar et al. (2011) assume il valore dell'1% in merito agli impatti dovuti alla fase di decostruzione. Blengini (2009) ha condotto uno studio relativo alla demolizione di un edificio ad appartamenti con 40 anni di vita utile, modellando le fasi di costruzione, uso e di fine vita. In merito al fine vita dell'edificio, i dati relativi alla demolizione e alle quantità di rifiuti prodotti sono state misurate direttamente in cantiere, individuando la preponderanza degli inerti e verificando che il 99% dei materiali di risulta sono stati avviati al riciclo; solo i materiali isolanti e alcune componenti plastiche sono stati collocati in discarica. In conseguenza, la valutazione del profilo ambientale assegna alla fase di fine vita un bilancio positivo, con una riduzione compresa tra 0,2% e 2,1% degli impatti sulla vita intera, grazie alle attività di riciclo finale. In particolare, confrontando lo scenario reale con l'opzione del totale conferimento in discarica e la conseguente perdita dei vantaggi ambientali dovuti al riciclo, si evidenzia un incremento dei valori variabile a seconda degli indicatori e compreso tra il 18% e il 55%, solo sul fine vita.

Sebbene tutti gli autori siano concordi nell'affermare che gli impatti ambientali dovuti alla demolizione e allo smaltimento degli edifici costruiti con materiali e tecniche tradizionali siano molto limitati, appare opportuno condurre un approfondimento che consenta di acquisire i dati relativi alle caratteristiche dei rifiuti direttamente sul campo e dia l'opportunità di valutare numerosi edifici con tipologie assimilabili ma non identici nella distribuzione e nella dimensione, in modo tale da verificare la va-

riabilità dei risultati ambientali all'interno di gruppi di edifici simili. L'obiettivo dello studio consiste quindi nell'analisi del profilo ambientale di una attività di demolizione per comprenderne il contributo in termini di impatti e contestualmente verificare se sia possibile raggiungere la soglia del 70% imposta dalla Direttiva Europea 2008/98/CE in merito al riciclo dei rifiuti derivanti dalle demolizioni.

2. MATERIALI E METODI

La demolizione di un insediamento residenziale ha costituito un'occasione particolarmente utile per condurre una valutazione ambientale in questa direzione. Lo studio ha infatti preso in considerazione 51 edifici residenziali nella frazione Case Nuove del comune di Somma Lombardo (VA). L'insediamento nasce nel 1590 come colonia agricola e fino all'inizio del secolo scorso annoverava solo due cascine. Il primo limitato sviluppo avvenne nel 1910 con l'istituzione della Scuola di Volo dei fratelli Caproni ma la realizzazione della quasi totalità degli edifici ha seguito progressivamente le tappe di sviluppo dell'aeroporto di Malpensa. Il primo incremento delle unità residenziali risale agli anni '50 e '60 e il secondo agli anni '80 mentre l'ultimo ventennio ha visto la realizzazione esclusivamente di strutture ricettive e industriali. La notevole espansione delle strutture aeroportuali, avvenute con il progetto Malpensa 2000, ha portato gli edifici residenziali a ricadere entro le curve isofoniche dei 65 dB, area all'interno della quale non è consentito l'insediamento di attività che prevedano la permanenza degli utenti, come le residenze. In conseguenza di ciò, a partire dal 2000 è stato attivato un piano per la delocalizzazione degli utenti e la riconfigurazione urbana del sito. I 51 edifici esaminati, rientranti nel primo lotto di intervento, sono rimasti disabitati per alcuni anni e nel periodo tra febbraio e maggio 2015 sono stati demoliti perché non più in grado di assolvere alla funzione residenziale e contestualmente non convertibili ad altre destinazioni d'uso. Il piano di intervento prevede quindi la liberazione delle aree che in futuro potranno rientrare nel piano di espansione delle superfici aeroportuali e vedranno l'insediamento di strutture ricettive e logistiche.

Prima dell'inizio delle attività di demolizione è stata condotta un'indagine approfondita sul campione, al fine di comprendere le caratteristiche tipologico-costruttive degli edifici, i materiali impiegati e le relative quantità. Le informazioni preliminari sono state raccolte attraverso la consultazione delle carte storiche del comune, dalla documentazione

catastale e dei risultati dei rilievi di massima effettuati dai tecnici comunali ai fini della gara di appalto per la demolizione. Si è quindi proceduto a una campagna di raccolta dati in sito al fine di verificare e dettagliare il rilievo geometrico degli edifici, indagare le tipologie costruttive, i materiali impiegati e le loro quantità, gli elementi accessori che non erano stati annotati nei documenti ufficiali. Gli edifici sono così stati classificati in relazione alla tipologia costruttiva e al periodo di realizzazione, per poi procedere al computo dei materiali e alla valutazione ambientale della fase di demolizione.

2.1. La classificazione degli edifici

I 51 edifici di Case Nuove sono stati in primo luogo classificati in relazione alle caratteristiche distributive e costruttive al fine di poter esprimere i risultati della valutazione ambientale sulla base della superficie lorda di pavimento, che ha influenze differenti in relazione alla tipologia. Sono stati considerati i seguenti aspetti:

- numero di piani fuori terra: la presenza di due piani fuori terra implica la realizzazione di una scala e di balconi o terrazzi che non sono presenti negli edifici ad un solo livello;
- presenza del piano interrato: questa caratteristica è fondamentale perché implica l'esigenza di demolire una quantità di strutture in calcestruzzo notevolmente superiore a quanto esiste negli edifici privi di interrato e contestualmente la necessità di procedere al rinterro al termine delle operazioni di rimozione delle macerie;
- caratteristiche del sistema costruttivo: la struttura portante degli edifici può essere di tipo continuo in muratura oppure puntiforme con telaio strutturale in calcestruzzo; questa differenza determina le caratteristiche dell'involucro dal punto di vista dei materiali impiegati delle loro dimensioni e di conseguenza la natura e le quantità di rifiuto generato.

Il secondo livello di classificazione è dettato dal periodo di costruzione. In molti casi non è stato possibile individuare l'esatto anno di realizzazione quindi le unità sono state raggruppate per fasce nelle quali è stato identificato il ricorso a tecniche e materiali omogenei. I periodi storici sono:

- dal 1700 ai primi decenni del 1900, ovvero dalla prima registrazione nel Catasto Teresiano della colonia agricola originaria fino all'insediamento dei primi campi volo: a questo periodo risalgono due distinte cascine agricole con edifici in linea e planimetria irregolare; si segnala che tutti questi edi-

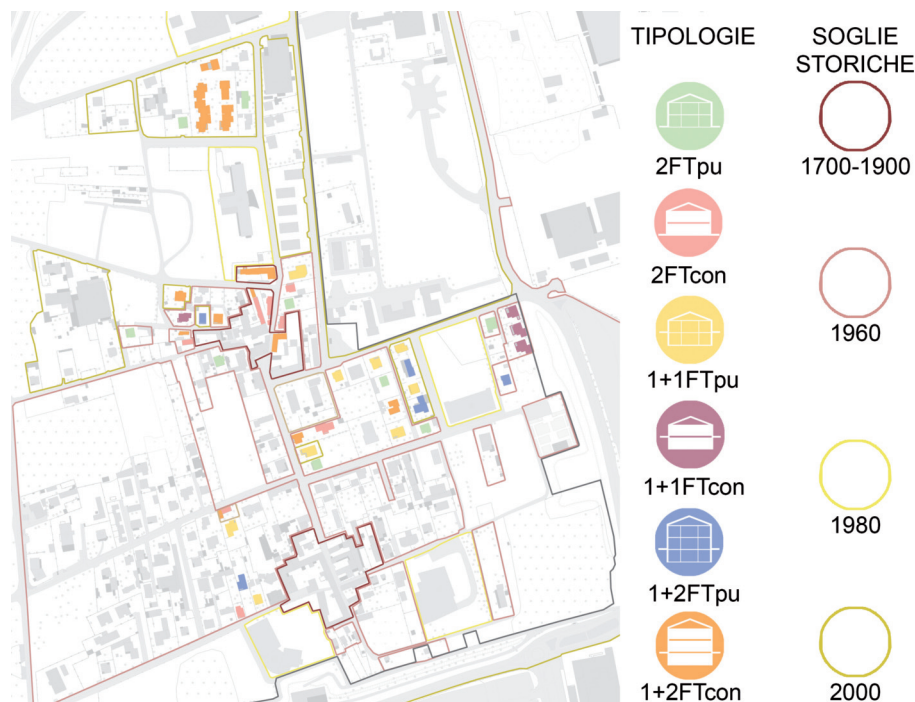


Figura 1 – Planimetria generale: tipologie e soglie storiche degli edifici inseriti nel piano di demolizione (gli acronimi delle tipologie sono spiegati nel paragrafo 2.1)

fici hanno subito un intervento di ristrutturazione volto principalmente alla sostituzione dei solai interpiano in legno con nuovi in laterocemento e alla formazione di vespai aerati al piano terreno quando non era già presente un piano interrato; in taluni casi è stata modificata anche la distribuzione interna e sono stati introdotti i balconi; trattandosi degli edifici più datati, gli interventi di ristrutturazione sono stati messi in atto durante la prima fase di ampliamento ovvero negli anni '60;

- periodo attorno al 1960: l'aeroporto di Malpensa, ufficialmente aperto nel 1948, subisce un primo significativo ampliamento a partire dal 1957 e attrae un numero consistente di lavoratori che vengono insediati nei nuovi edifici di Case Nuove, costruiti nell'arco di un decennio circa; que-

sti edifici sono principalmente di tipo mono-bifamiliare con un solo piano e rimessa interrata oppure con due piani senza basamento;

- periodo attorno al 1980: nel 1985 prende avvio il nuovo progetto di ampliamento chiamato Malpensa 2000 che comporta una nuova espansione dell'edificato residenziale fino ai primi anni '90; in questo periodo si realizzano gli edifici plurifamiliari di maggiori dimensioni con due piani fuori terra e le autorimesse interrate.

Sono state così individuate 6 tipologie, all'interno delle quali gli edifici sono stati poi raggruppati per epoca di costruzione (Vedi Figure 1 e 2):

- 2FTpu: 2 piani fuori terra, sistema costruttivo puntiforme con telaio in calcestruzzo e solai in laterocemento;



Figura 2 – Esempi di edifici valutati: (da sinistra) tipologia 1+1 FT, 2 FT, 1 FT (gli acronimi delle tipologie sono spiegati nel paragrafo 2.1)

- 2FTcon: 2 piani fuori terra, sistema costruttivo in muratura portante continua;
- 1+1FTpu: 1 piano fuori terra e 1 piano interrato, sistema costruttivo puntiforme con telaio in calcestruzzo e solai in laterocemento;
- 1+1FTcon: 1 piano fuori terra e 1 piano interrato, sistema costruttivo in muratura portante continua;
- 1+2FTpu: 2 piani fuori terra e 1 piano interrato, sistema costruttivo puntiforme con telaio in calcestruzzo e solai in laterocemento;
- 1+2FTcon: 2 piani fuori terra e 1 piano interrato, sistema costruttivo in muratura portante continua.

2.2. I sistemi costruttivi e il computo dei materiali

Al fine di individuare i materiali impiegati nella costruzione e le relative quantità, per ogni tipologia sono state descritte le stratigrafie degli elementi costituenti (solai, chiusure verticali e orizzontali, partizioni interne, ecc.), a partire da quanto osservato durante i sopralluoghi e integrando tali informazioni con riferimento alle prassi costruttive del periodo. In relazione all'epoca di costruzione, alla presenza o meno di vani al piano interrato e all'uso di una struttura portante puntiforme o continua, le caratteristiche tecnologiche si modificano e cambiano le quantità in oggetto. È stato quindi definito un abaco delle soluzioni costruttive e per ciascuna di esse sono stati analizzati i materiali contenuti e le quantità relative, espresse per unità di superficie (m² per setti di elevazione, chiusure verticali opache, chiusure orizzontali inferiori, coperture, partizioni verticali e orizzontali, sporti di balconi, manti di copertura, pavimenti, sistemi oscuranti, inferriate e parapetti), per unità di estensione lineare (m per travi e muri di fondazione, pilastri, travi di solaio o copertura, recinzioni) oppure a pezzo (per porte, finestre, rampe di scale, radiatori, sanitari). Allo scopo di individuare le quantità complessive di materiali costituenti ciascun edificio, il contenuto di materiale proprio di ogni elemento dell'abaco è stato poi moltiplicato con l'estensione di tale elemento nell'edificio in corso di analisi, consentendo di redigere una scheda di sintesi finale per ognuna delle 51 unità in cui riportare l'elenco dei materiali costituenti e le relative quantità. Le quantità di rifiuto generate da ogni edificio sono organizzate secondo due schemi paralleli: da un lato i sottosistemi architettonici, dall'altro i materiali di risulta. Questo tipo di approccio consente di comprendere sia l'incidenza degli impatti ambientali sulle parti costituenti gli edifici, sia di evidenziare la natura del rifiuto che viene ge-

nerato. Ogni edificio è quindi suddiviso nei seguenti sottosistemi: strutture portanti, chiusure verticali opache, chiusure verticali trasparenti, elementi di completamento delle chiusure orizzontali, partizioni interne verticali, finiture e impianti. I materiali di risulta sono invece i seguenti: inerti da calcestruzzo, inerti da laterizio, acciaio per armature, acciaio per elementi accessori, acciaio zincato, legno, vetro, PVC, lana di roccia, EPS, bitume, rame, ghisa, amianto (taluni non sono presenti in tutti gli edifici considerati). In merito agli inerti, si annota che la differente composizione degli elementi architettonici comporta la produzione di aggregati di differente natura, quindi si è ritenuto opportuno classificarli in due voci distinte. Negli inerti da calcestruzzo sono inclusi i materiali derivanti dalla demolizione di pilastri e setti in elevazione, delle strutture interrate, delle rampe di scale e di alcuni muri di recinzione. Negli inerti da laterizio sono incluse le macerie provenienti dalla demolizione di tutte le componenti dove la presenza del laterizio è esclusiva, come le murature portanti, di tamponamento o partizione e i manti di copertura, oppure dove si rende impossibile la separazione dal calcestruzzo, come nei solai in laterocemento. Qui sono ricomprese anche le macerie derivanti dalla demolizione di pavimenti, rivestimenti e la ceramica dei sanitari.

2.3. Il processo di demolizione e di trattamento dei rifiuti

Allo scopo di condurre la valutazione ambientale della fase di fine vita di questi edifici, dopo aver individuato i materiali e le relative quantità, sono state raccolte alcune informazioni circa il processo di dismissione e sono stati descritti due scenari diversi per il trattamento dei rifiuti. In primo luogo il contatto con l'azienda vincitrice dell'appalto e le visite in cantiere durante la demolizione hanno consentito di definire le attività svolte. Si è proceduto allo strip-out manuale che ha visto la rimozione di serramenti, inferriate, parapetti, sanitari e componenti impiantistiche removibili; successivamente si è proceduto alla demolizione con pinza selezionatrice delle coperture in legno e alla rimozione delle parti in materiali non inerti; infine, con la pinza demolitrice sono state frantumate tutte le parti in laterizio e calcestruzzo, estraendo le armature in acciaio (Vedi Figura 3). Si sottolinea che è stato possibile disaccoppiare tutti i materiali che componevano le stratigrafie di copertura e delle chiusure verticali opache pluristrato realizzate negli anni '80: nello specifico gli isolanti in lana di



Figura 3 – Attività di demolizione

roccia ed EPS, le guaine impermeabilizzanti e le scandole bituminose che costituivano i manti di copertura di alcune unità sono stati separati dai substrati di supporto in laterizio, calcestruzzo o legno. Durante e successivamente alla demolizione, i materiali di risulta sono stati accuratamente selezionati: i non-inerti sono stati rimossi e trasportati ai centri di trattamento mentre gli inerti sono stati impiegati per il riempimento dei vuoti lasciati dai piani interrati degli edifici, previa macinazione in sito. Si sottolinea che gli inerti derivanti dalle opere in calcestruzzo e le macerie di laterizi, intonaci, pavimenti e sottofondi sono stati separati solo nella conduzione della ricerca mentre nella realtà tutti gli inerti sono stati trattati in modo uniforme, senza distinzioni.

Il primo scenario di fine vita ricalca la condizione reale, descritta dal Direttore Tecnico dell'azienda aggiudicataria:

- inerti: frantumazione in sito con frantoio mobile e utilizzo come materiale di riempimento per colmare i vuoti lasciati dai piani interrati e livellare il terreno;
- metalli: separazione e trasporto ai centri di trattamento e riciclo, siti a 20 km dal cantiere;
- legno, vetro, PVC, lana di roccia, EPS, bitume: depositati in una discarica sita a 20 km dal cantiere.

Il secondo scenario è stato ipotizzato per confronto con l'intento di ridurre la quantità di materiale depositata in discarica e si ritiene che meglio rispecchi le condizioni di gestione di un cantiere di demolizione medio. Esso prevede:

- inerti: demolizione e trasporto in apposito centro di selezione e trattamento per il riciclo posto entro i 10 km dal cantiere;
- metalli: separazione e trasporto in un centro di trattamento e riciclo posto a 20 km dal cantiere;
- legno: separazione e trasporto in un centro di termovalorizzazione posto a 25 km dal cantiere;
- vetro, PVC: separazione e trasporto in un centro di trattamento e riciclo posto a 25 km dal cantiere;

- bitume: separazione e trasporto in un centro di termovalorizzazione posto a 25 km dal cantiere;
- lana di roccia: separazione e trasporto in un centro di trattamento e riciclo posto a 25 km dal cantiere;
- EPS: separazione e trasporto in un centro di termovalorizzazione posto a 25 km dal cantiere.

In merito agli inerti, si annota che nel secondo scenario è stato ipotizzato il trasporto ad un centro di trattamento esterno perché questa indicazione era contenuta nel bando di gara; l'azienda aggiudicataria ha poi richiesto e ottenuto le autorizzazioni per poter procedere al trattamento in sito degli inerti e al loro impiego per rimodellare le aree. Questa scelta è stata dettata da considerazioni di tipo economico e dall'opportunità di ridurre i tempi di lavoro ma è assai più frequente che gli inerti vengano trattati in un centro specializzato.

2.4. Life Cycle Assessment

Il profilo ambientale di questo intervento di demolizione è stato analizzato con il metodo Life Cycle Assessment (LCA), in accordo con le norme ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. I confini di sistema comprendono le attività di demolizione, selezione e trattamento finale dei materiali che costituiscono i 51 edifici del 1° lotto, avvenute sia all'interno del cantiere che in appositi centri di gestione dei rifiuti. Sono quindi stati inclusi nella valutazione i materiali di risulta, i mezzi di cantiere, i trasporti dal cantiere ai centri di trattamento, la frantumazione e la selezione degli inerti sia in cantiere con un piccolo frantoio mobile sia all'impianto di cava, il deposito in discarica e la termovalorizzazione. Dal computo dei materiali sono stati esclusi i cavi delle linee elettriche, le tubazioni degli impianti di riscaldamento, idrico-sanitari e di scarico, alcuni elementi di arredo abbandonati negli immobili e quanto risultante dalla rimozione di piccole strutture accessorie esistenti nelle perti-

nenze e differenti dalle recinzioni e dalle pavimentazioni esterne. È stata esclusa anche la valutazione degli impatti derivanti dalle attività di abbattimento, estirpazione e smaltimento delle essenze vegetali che insistevano nelle aree verdi delle proprietà e che è stato necessario rimuovere per consentire l'approntamento del cantiere e il reperimento delle superfici necessarie all'accumulo dei rifiuti selezionati, prima del loro trasferimento ai centri di trattamento che è avvenuto in un'unica soluzione al termine della demolizione di tutte le strutture facenti capo ad un medesimo comparto. Poiché lo studio mira a confrontare gli impatti derivanti dalla demolizione di edifici con tipologia costruttiva e dimensioni diverse, come unità funzionale è stato scelto il m² di superficie lorda di pavimento (1 m² slp). Si annota che le superfici dei vani accessori come le autorimesse e gli spazi interrati non rientrano nel computo della slp quindi, a parità di estensione delle superfici residenziali, le unità dotate di vani interrati segnalano maggiori impatti per unità funzionale. Considerando le caratteristiche specifiche di ogni edificio e a seguito della raccolta dei dati relativi alle caratteristiche costruttive per ogni edificio, la valutazione ambientale è stata condotta separatamente su ciascuna unità, dividendo poi i valori di impatto per l'estensione della slp e ottenendo l'incidenza per unità funzionale (1 m² slp). È quindi possibile confrontare contestualmente il profilo ambientale di unità con tipologia edilizia e tecniche costruttive diverse sulla base dei due scenari di fine vita descritti in precedenza. La raccolta dei dati quantitativi è avvenuta attraverso le misurazioni in sito, il ridisegno a CAD degli immobili rilevati e la gestione dei computi metrici con fogli di calcolo Excel, mentre la valutazione del profilo ambientale è stata condotta con il software SimaPro 8 (PRé Consultants). I dati ambientali sono stati acquisiti nella banca dati Ecoinvent 3 e i risultati sono stati descritti attraverso gli indicatori dei metodi CED – Cumulative Energy Demand (consumi di ener-

gia da fonti rinnovabili e non rinnovabili), EPD 2013 (Global Warming Potential, Ozone Layer Depletion Potential, Photochemical Oxidation Potential, Acidification Potential e Eutrophication Potential) e ILCD (Land Use). Al fine di descrivere il profilo ambientale degli edifici sono state selezionate le opportune voci di banca dati che sono state assunte nella medesima forma in cui sono inserite in Ecoinvent, senza procedere ad alcuna modifica. In merito alle macchine operatrici sono stati considerati i consumi medi di gasolio, imputando 0,044 MJ per ogni kg di materiale demolito e 0,002 MJ per ogni kg di detriti frantumati in cantiere (Modulo Ecoinvent 3: Diesel, burned in building machine/GLO U); per i trasporti è stato fatto riferimento ad un veicolo per il trasporto delle macerie (Modulo Ecoinvent 3: Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U).

3. RISULTATI

3.1. Le tipologie e le quantità dei materiali di risulta

Il computo così accurato delle componenti ha evidenziato una distribuzione quantitativa fortemente sbilanciata verso i materiali inerti, ben oltre qualsiasi ipotesi iniziale. Essi infatti ammontano al 97% del totale, relegando gli altri materiali in posizioni assolutamente marginali (Vedi Tabella 2). Il risultato è spiegabile attraverso le caratteristiche dei sistemi costruttivi degli edifici che vedono in tutti i casi l'uso del laterizio e del calcestruzzo per la realizzazione di strutture, chiusure opache e partizioni. Il legno costituisce solo le strutture di copertura (ma sono presenti anche edifici con solaio di copertura in laterocemento) e la serramentistica, che però assorbe quantità di materiale decisamente ridotte. Le superfici trasparenti sono spesso inferiori al 20% delle superfici di facciata e i telai dei serramenti hanno sezioni semplici e di poco spessore, essendo in gran parte antecedenti alla Leg-

Tabella 2 – Composizione dei rifiuti provenienti dalla demolizione, suddivisi per soglie storiche

PERIODO DI COSTRUZIONE	INERTE		METALLI		LEGNO		ALTRI RICICLABILI		ALTRI NON RICICLABILI		TOTALE
	Peso (t)	%	Peso (t)	%	Peso (t)	%	Peso (t)	%	Peso (t)	%	Peso (t)
'700-'900	5.717,46	98,26%	44,61	0,77%	52,29	0,90%	3,44	0,06%	1,16	0,02%	5.819
Anni '60	9.911,16	96,70%	137,31	1,34%	180,20	1,76%	7,75	0,08%	12,63	0,12%	10.249
Anni '80	11.962,20	97,31%	145,94	1,19%	118,85	0,97%	30,31	0,25%	36,14	0,29%	12.293
TOTALE RIFIUTI	27.590,82	97,28%	327,86	1,16%	351,34	1,24%	41,50	0,15%	49,93	0,18%	28.361

ge 373/76 e certamente alla Legge 10/91. Tutti gli edifici hanno un impianto tipologico semplice con una ridotta presenza di elementi tecnologici; i materiali isolanti (EPS e lana di roccia) sono presenti solo negli edifici databili agli anni '80 e gli spessori dei pannelli ammontano a pochi cm; le materie plastiche (PVC) sono saltuariamente impiegate nei serramenti più recenti e nei sistemi per la raccolta delle acque piovane.

Più in dettaglio, i rifiuti generati ammontano a 28.361 t di cui 27.591 t sono ascrivibili agli inerti (97,28%). I rimanenti materiali sono principalmente costituiti dai componenti in legno per 351 t (1,24%) e dalle parti metalliche per 328 t (1,16%); i residui non riciclabili (EPS e bitume) pesano 50 t (0,18%) e gli altri rifiuti riciclabili (PVC, lana di roccia e vetro) pesano 42 t (0,15%). Le percentuali variano sensibilmente in relazione all'epoca di costruzione per quanto riguarda le ultime due voci ma la preponderanza degli inerti annulla qualsiasi effetto sul quadro complessivo. L'ammontare dei rifiuti prodotti dalla demolizione di ciascuna unità varia tra 135 t e 2.874 t, ma la maggior parte dei casi è inseribile nel range tra 250 t e 500 t. Nello studio presentato da Blengini (2009) la quantità di inerte è assimilabile a quanto rilevato nell'esperienza di Case Nuove poiché ammonta al 95% del totale dei rifiuti generati. Nel presente caso studio la rimanenza è suddivisa tra il legno, i metalli e gli altri residui mentre nel caso torinese l'acciaio costituisce il 4% e gli altri materiali si fermano all'1%. Questa differenza della percentuale di acciaio è dovuta alle caratteristiche tipologico-costruttive degli edifici studiati: mentre a Case Nuove sono presenti unità mono e bifamiliari con strutture portanti a telaio o in muratura portante di laterizio, l'oggetto delle valutazioni di Blengini era un unico corpo di fabbrica alto 10 piani con una slp di 6.630 m², realizzato con strutture portanti in pannelli prefabbricati di calcestruzzo. Anche nel caso studio cinese di Wu et al. (2012) si ritrovano le medesime percentuali di incidenza della componente inerte, sebbene si tratti di un edificio per uffici e aule all'interno di un campus universitario e sebbene la sua dimensione sia notevolmente superiore, contando 36.500 m² di superficie distribuiti su 13 piani. Le strutture sono in calcestruzzo armato mentre le chiusure verticali e le partizioni interne sono realizzate in laterizio. La suddivisione dei materiali vede il 90,65% di calcestruzzo, cui sommare il 3,75% dei laterizi e il 2,56% di cemento e malte; i materiali inerti rappresentano quindi il 96,96% del totale.

3.2. Il profilo ambientale: le percentuali di incidenza dei materiali

Dal punto di vista del profilo ambientale, gli esiti della valutazione rispecchiano in linea di massima i rapporti percentuali evidenziati dalle quantità di rifiuti misurate in peso per quanto attiene ai consumi di energia da fonte fossile e da fonte rinnovabile mentre la preponderanza degli inerti è meno evidente in termini di Global Warming Potential, Acidification Potential e Land Use limitatamente al primo scenario. Nonostante lo studio abbia coinvolto 8 indicatori ambientali, si presentano i risultati conseguiti sui 5 parametri più significativi, riferendosi all'intero ammontare dei rifiuti derivanti dalla demolizione dei 51 edifici. In Figura 4 sono evidenziate le incidenze percentuali dei vari materiali sui 5 indicatori ambientali; in Figura 5 sono riportati i contributi specifici dei sottosistemi edilizi sui 5 indicatori ambientali.

Il contributo in termini di consumo di energia da fonti non rinnovabili dei vari materiali smaltiti evidenzia percentuali ascrivibili al trattamento degli inerti nei due scenari che si attestano rispettivamente all'84,9% e al 89,8% (97,28% in peso); quelle relative ai processi di fine vita del legno salgono al 7,7% e al 3,9% (1,24% in peso); per le parti metalliche si registrano valori di 6,1% e 1,6% (1,16% in peso), per i materiali riciclabili 0,4% e 3,0% (0,15% in peso) e per gli altri materiali non riciclabili 0,9% e 1,5% (0,18% in peso). Su questo indicatore, nel passaggio al secondo scenario, cresce quindi l'incidenza degli inerti e si riducono quelle di metalli (il consumo in termini assoluti è però il medesimo) e legno.

Il contributo in merito al consumo di energia da fonti rinnovabili segna invece valori più aderenti alle quantità relative misurate in peso, assegnando il 97,0% agli inerti. In questo scenario, il trattamento delle macerie avviene in un centro specializzato collocato a circa 10 km di distanza da Case Nuove, quindi gli impatti ambientali evidenziati dipendono dai consumi di gasolio per il funzionamento delle macchine di cantiere per la demolizione e lo spostamento dei materiali, a cui si sommano i trasporti verso il centro di frantumazione esterno e il relativo rientro e gli impatti specifici dei frantoi di cava che sono alimentati elettricamente. Tra gli altri materiali è più evidente il legno nel primo scenario con 2,0% mentre gli altri si fermano al di sotto dell'1%.

In termini di Global Warming Potential si evidenzia una situazione molto differente rispetto agli altri indicatori, con una forte riduzione dei valori degli iner-

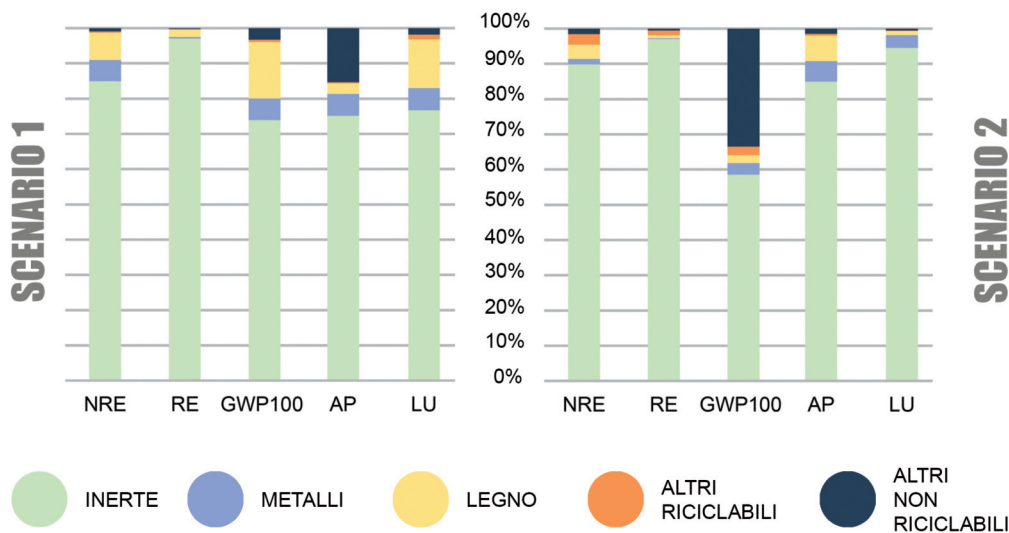


Figura 4 – I contributi delle fasi di demolizione e trattamento dei rifiuti su 5 indicatori ambientali, secondo due scenari e suddivisi per materiali (NRE: consumi di energia da fonti non rinnovabili, RE: consumi di energia da fonti rinnovabili, GWP100: Global Warming Potential, AP: Acidification Potential, LU: Land Use)

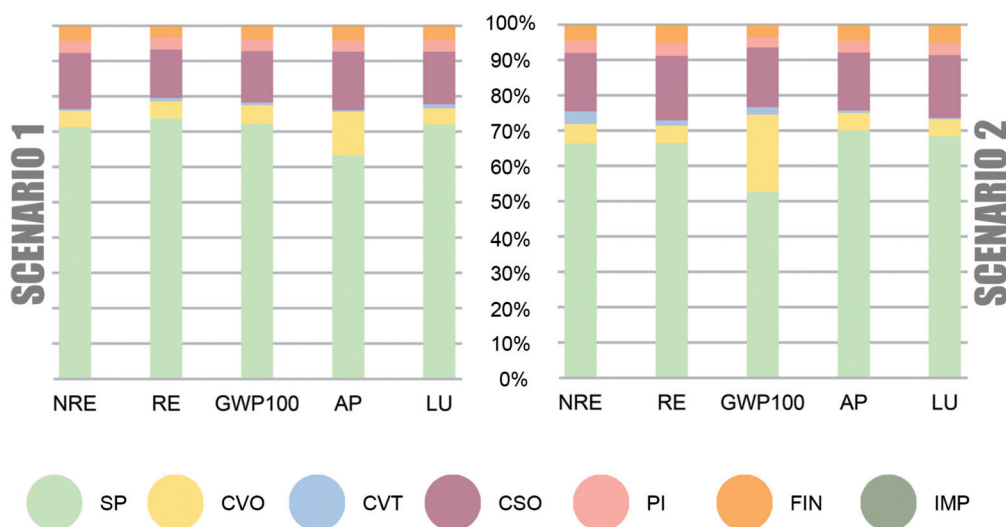


Figura 5 – I contributi delle fasi di demolizione e trattamento dei rifiuti su 5 indicatori ambientali, secondo due scenari e suddivisi per sottosistemi (SP: strutture portanti, CVO: chiusure verticali opache, CVT: chiusure verticali trasparenti, CSO: completamento solai orizzontali, PI: partizioni interne verticali, FIN: finiture, IMP: componenti impiantistici. NRE: consumi di energia da fonti non rinnovabili, RE: consumi di energia da fonti rinnovabili, GWP100: Global Warming Potential, AP: Acidification Potential, LU: Land Use)

ti che si posizionano rispettivamente al 73,9% e al 58,5%, a fronte di una maggiore incidenza di altri materiali. Più in dettaglio, nel primo scenario gli inerti sono seguiti in ordine di importanza dal legno (15,9%) che viene collocato in discarica e dai metalli (6,1%); nel secondo scenario, hanno maggiore incidenza i materiali non riciclabili (EPS e bitume) avviati alla termovalorizzazione, con il 33,5%, mentre il legno ha un'incidenza minore perché viene anch'esso incenerito bilanciando la CO₂ emessa con quella sequestrata durante la crescita delle piante.

In merito all'Acidification Potential è di nuovo evidente un maggiore rilievo di altri materiali rispetto ai rapporti in termini di peso dei rifiuti generati: l'incidenza degli inerti si ferma infatti al 75,1% nel primo scenario e all'84,9% nel secondo. Nel primo scenario è molto consistente il carico dei materiali non riciclabili al 15,4% (0,18% in peso) collocati in discarica, mentre nel secondo è più rilevante la termovalorizzazione del legno, con il 7,1%, seguita dal trattamento dei residui metallici, con il 5,9%.

In ultima analisi, l'indicatore del Land Use è quello che meglio illustra la responsabilità del trattamento degli inerti all'interno o all'esterno del cantiere nello spostamento delle quote di impatto dei vari materiali. Calcestruzzo e laterizio incidono infatti per solo il 76,6% nel modello reale e salgono al 94,6% nel modello di confronto. Il legno ha invece un andamento opposto, scendendo dal 13,7% quando viene conferito in discarica a solo l'1,2% quando viene incenerito.

Coerentemente con quanto evidenziato dalla suddivisione delle incidenze dei materiali costituenti sugli indicatori ambientali, si rileva una preponderanza dei carichi ambientali ascrivibili ai sottosistemi delle strutture portanti e delle chiusure verticali opache rispetto agli altri elementi edilizi. I consumi energetici legati al sottosistema della struttura portante ammontano al 65-70% del totale negli edifici con telaio in calcestruzzo e al 75-80% in quelli con muratura portante; nelle unità costruite nel periodo '700-'900 le strutture pesano per oltre l'80%. Negli edifici a telaio portante, le chiusure opache incidono mediamente per il 6% circa, se è presente il piano interrato, o per il 10% circa, se l'unità si sviluppa interamente fuori terra. Il completamento dei solai orizzontali varia tra il 6% e il 10% quando manca l'interrato e tra il 17% e il 21% quando invece è presente. Le finiture incidono nell'ordine del 5%. Nel secondo scenario, l'incidenza delle strutture si riduce di circa 5 punti percentuali, a favore degli elementi di completamento e di finitura. Nel primo scenario, i valori di incidenza del Global Warming Potential sono simili mentre l'Acidification Potential vede una generale riduzione degli impatti sulle strutture portanti (8-12%) a favore dei completamenti degli elementi orizzontali e delle finiture. Il secondo scenario evidenzia invece una riduzione della quota percentuale delle strutture sul GWP a fronte di una crescita di circa il 10% degli impatti legati alle chiusure verticali opache poiché in questo sottosistema sono incluse le guaine bituminose utilizzate per impermeabilizzare le pareti perimetrali dei piani interrati.

3.3. Il profilo ambientale: i valori di impatto

Come spiegato nel paragrafo 2, per condurre questo studio è stata scelta l'unità funzionale di 1 m² di superficie lorda di pavimento allo scopo di individuare dati ambientali medi che possano essere rappresentativi degli edifici residenziali tipici dell'edificato diffuso a bassa densità. L'analisi è stata condotta su ciascuno dei 51 edifici in oggetto e i

valori del profilo ambientale ottenuti sono poi stati divisi per la slp di ciascun edificio. Si sottolinea che esiste una buona sovrapposizione tra tutti gli oggetti del campione in merito alle caratteristiche tipologiche, tecnico-costruttive e dimensionali. Gli edifici analizzati, sia pur ciascuno con caratteristiche distributive e architettoniche proprie, sono accomunati dall'uso dei medesimi materiali e delle medesime tecniche, analoghi nella gran parte delle unità residenziali costruite in Italia negli stessi periodi. I caratteri specifici di ciascun oggetto emergono solo in alcuni casi estremi, segnati dalla presenza di superfici decisamente più ampie della media, planimetrie più articolate, maggior numero di elementi accessori come balconi o portici. Se si considerano i valori assoluti di impatto derivanti dalla gestione della fase di fine vita degli edifici esaminati secondo il primo scenario di trattamento, l'indicatore del consumo di energia da fonte non rinnovabile per unità edilizia varia tra un minimo di 0,47 E-1 MJ/m² e un massimo di 1,65 E-1 MJ/m², con un valore medio di 0,96 E-1 MJ/m² (Vedi Tabella 3). L'indicatore del consumo di energia da fonte rinnovabile si attesta invece su valori superiori di circa 10 volte, variando tra un minimo di 0,51 MJ/m² e un massimo di 1,65 MJ/m², con un valore medio di 0,96 MJ/m². Parallelamente, il Global Warming Potential ammonta in media a 15,35 kg di CO₂eq./m², con un minimo di 7,75 kg di CO₂eq./m² e un massimo di 26,24 kg di CO₂eq./m². Se invece si considerano i valori riferiti al secondo scenario, l'indicatore del consumo di energia non rinnovabile varia tra un minimo di 1,40 E-1 MJ/m² e un massimo di 5,06 E-1 MJ/m² per unità edilizia, con un valore medio di 2,90 E-1 MJ/m². L'indicatore del consumo di energia rinnovabile si attesta invece su valori superiori di circa 60 volte, variando tra un minimo di 8,06 MJ/m² e un massimo di 29,43 MJ/m², con un valore medio di 16,92 MJ/m². In parallelo, il Global Warming Potential ammonta in media a 29,82 kg di CO₂eq./m², con un minimo di 9,43 kg di CO₂eq./m² e un massimo di 69,66 kg di CO₂eq./m².

In merito a questi risultati generali si annota che l'edificio che registra i minori impatti in assoluto appartiene alla categoria 2FTcon e ha una slp di soli 75,2 m², distribuita su due piani fuori terra senza interrato, ha una struttura di copertura in legno e non si rileva la presenza di materiali isolanti. Al contrario, l'edificio che presenta i massimi valori di impatto appartiene alla categoria 1+2FTcon e ha una slp di 350,5 m², distribuita in modo articolato su due piani con interrato; inoltre, questa unità è stata co-

Tabella 3 – I risultati della valutazione ambientale, secondo due scenari a confronto (NRE: consumi di energia da fonti non rinnovabili, RE: consumi di energia da fonti rinnovabili, GWP100: Global Warming Potential, ODP: Ozone Layer Depletion Potential, POCP: Photochemical Oxidation Potential, AP: Acidification Potential, EP: Eutrophication Potential, LU: Land Use. Valori per m² di slp)

SCENARIO 1		2FTpu			2FTcon			1+1FTpu			1+1FTcon			1+2FTpu			1+2FTcon			VALORI MEDI
		MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	
NRE	MJ E-01	0,79	0,48	0,55	0,95	0,47	0,71	1,60	0,68	1,26	1,65	1,30	1,47	1,18	0,59	0,89	1,15	0,50	0,90	0,96
RE	MJ	0,85	0,51	0,59	0,88	0,51	0,72	1,44	0,70	1,28	1,65	1,38	1,48	1,02	0,60	0,83	1,04	0,53	0,87	0,96
GWP100	kg CO ₂ eq E+01	1,31	0,79	0,90	1,43	0,78	1,12	2,42	1,09	2,04	2,62	2,13	2,35	1,76	0,94	1,39	1,73	0,82	1,41	1,54
ODP	kg CFC-11 eq E-05	0,14	0,08	0,10	0,17	0,08	0,12	0,28	0,12	0,22	0,29	0,23	0,26	0,21	0,10	0,16	0,20	0,09	0,16	0,17
POCP	kg C ₂ H ₄ eq E-02	0,27	0,16	0,19	0,29	0,16	0,23	0,48	0,23	0,42	0,54	0,45	0,49	0,35	0,20	0,28	0,35	0,17	0,29	0,32
AP	kg SO ₂ eq	0,12	0,06	0,08	0,13	0,06	0,09	0,28	0,10	0,20	0,25	0,19	0,22	0,20	0,08	0,16	0,20	0,08	0,14	0,15
EP	kg PO ⁴⁻ eq	0,16	0,08	0,11	0,21	0,07	0,11	0,28	0,11	0,21	0,25	0,19	0,23	0,18	0,09	0,11	0,27	0,07	0,12	0,15
LU	kg C _{deficit} E+02	0,35	0,21	0,24	0,39	0,20	0,30	0,64	0,29	0,53	0,69	0,56	0,62	0,47	0,25	0,37	0,48	0,22	0,38	0,41

SCENARIO 1		2FTpu			2FTcon			1+1FTpu			1+1FTcon			1+2FTpu			1+2FTcon			VALORI MEDI	SCAR-TO %
		MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED		
NRE	MJ E-01	2,47	1,40	1,74	3,09	1,45	2,11	5,06	1,94	3,71	5,03	3,73	4,43	3,49	1,86	2,72	3,42	1,55	2,68	2,90	301%
RE	MJ	13,34	8,06	9,25	18,07	8,11	12,51	29,43	11,55	21,68	29,28	21,97	25,92	21,69	10,24	16,04	20,82	8,64	16,14	16,92	1758%
GWP100	kg CO ₂ eq E+01	2,65	1,07	1,40	2,27	0,94	1,52	6,97	1,83	4,19	4,87	3,54	4,28	5,20	1,54	3,62	5,77	1,59	2,89	2,98	194%
ODP	kg CFC-11 eq E-05	0,19	0,12	0,14	0,25	0,12	0,18	0,43	0,17	0,32	0,42	0,32	0,38	0,31	0,15	0,23	0,30	0,13	0,23	0,25	145%
POCP	kg C ₂ H ₄ eq E-02	0,33	0,20	0,23	0,40	0,20	0,29	0,66	0,28	0,52	0,69	0,53	0,61	0,48	0,24	0,37	0,47	0,21	0,37	0,40	126%
AP	kg SO ₂ eq	0,14	0,09	0,10	0,17	0,08	0,12	0,29	0,12	0,22	0,29	0,23	0,26	0,21	0,10	0,16	0,20	0,09	0,16	0,17	115%
EP	kg PO ⁴⁻ eq	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,03	0,06	0,08	0,07	0,07	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	32%
LU	kg C _{deficit} E+02	0,55	0,34	0,38	0,74	0,34	0,52	1,24	0,49	0,92	1,23	0,93	1,09	0,93	0,42	0,68	0,89	0,36	0,68	0,71	175%

struita nel '700 e ha poi subito ristrutturazioni ed ampliamenti successivi tale da avere due corpi scale e alcuni muri interni ad elevato spessore, poiché in origine costituivano la chiusura perimetrale portante.

I risultati presentati evidenziano che nel passaggio tra il primo e il secondo scenario si registra un peggioramento su tutti gli indicatori ad eccezione dell'Eutrophication Potential che al contrario si riduce a circa 1/3, in ragione della mancata collocazione in discarica del legno. Gli indicatori sui consumi di energia registrano una crescita molto forte in particolare per quanto riguardano le fonti rinnovabili, dove i valori rappresentativi del secondo scenario sono circa 18 volte superiori in media, ma con un picco massimo di oltre 21 nel caso di alcuni edifici costruiti negli anni '80, con 2 piani fuori terra più interrato e struttura puntiforme. La crescita dell'indicatore relativo alle fonti fossili è notevole ma decisamente meno marcata perché si attesta al triplo. Sul fronte degli altri indicatori di impatto si registra un incremento più moderato e compreso tra il 20% medio dell'Acidification Potential e l'84% medio del Global Warming Potential.

In merito al risultato evidenziato dall'Eutrophication Potential, sebbene si registri un marcato incre-

mento del carico relativo agli inerti a causa del trattamento esterno al cantiere, la variazione più significativa è legata alla riduzione del 90% circa degli impatti dovuti al legno e al bitume che nel secondo scenario non vengono più depositati in discarica ma inviati alla termovalorizzazione. Quest'ultimo aspetto condiziona gli esiti del confronto in merito al Global Warming Potential che, a fronte di un incremento medio complessivo dell'84%, vede la crescita di circa 20 volte della voce "bitume" e del 50% della voce "inerti"; la voce "legno" si riduce a circa 1/4, grazie al bilancio del carbonio biogenico.

Dal punto di vista dei consumi di risorse rinnovabili gli scostamenti sono dovuti essenzialmente alla componente inerte, con un peggioramento dei carichi di circa 25 volte; anche l'incenerimento del bitume triplica gli impatti. Al contrario, si riducono di circa il 40% gli impatti dovuti al trattamento dei componenti in legno e si annullano quelli relativi ai materiali che nello scenario reale vengono depositati in discarica mentre nell'ipotesi migliorativa vengono avviati al riciclo, quali vetro, PVC e lana di roccia.

L'indicatore dei consumi di energia da fonte fossile vede invece un peggioramento dei valori nel secon-

do scenario su tutte le componenti, eccezion fatta per i materiali che vengono avviati al riciclo. In particolare si registra il raddoppio dei contributi riferiti al legno, quelli dovuti agli inerti sono più che tripli, mentre EPS e bitume sono circa 10 volte superiori. I consistenti incrementi negli impatti per il trattamento degli inerti dipendono dalla necessità di trasportare le macerie fino alla cava, movimentarle, macinarle in un frantoio di grandi dimensioni e trasportarle nuovamente a Case Nuove. Nel primo scenario, non solo vengono eliminati i trasporti, ma la movimentazione avviene in un raggio di alcune decine di metri soltanto. Inoltre, il frantoio da cantiere ha un consumo molto contenuto rispetto all'impianto di macinazione e selezione presente in cava. In sintesi, l'impatto sui consumi di energia per la demolizione e il trattamento finale dei materiali di risulta ammonta a 1,06 MJ/m² secondo lo scenario reale e a 17,21 MJ/m² secondo lo scenario di confronto. In merito agli altri indicatori, il Global Warming Potential cresce da 15,35 kg di CO₂eq./m² a 29,82 kg di CO₂eq./m², l'Acidification Potential aumenta da 0,15 kg di SO₂eq./m² a 0,17 kg di SO₂eq./m² e il Land Use sale da 40,69 kg C_{deficit} a 71,33 kg C_{deficit}.

4. DISCUSSIONE

4.1. Applicabilità dei risultati al patrimonio edilizio diffuso

Il patrimonio edilizio italiano è essenzialmente costituito da immobili con un'età superiore ai 25 anni poiché lo sviluppo immobiliare ha conosciuto il suo periodo più intenso, in termini di numero di volumi realizzati, a partire dal secondo dopoguerra e fino agli anni '80, cui si somma il patrimonio storico. Sul territorio nazionale, si contano in totale 14.515.795 edifici e complessi di edifici, di cui l'84,3% è destinato alla funzione residenziale. Tra questi, solo il 16% può essere considerato recente, ovvero costruito dopo il 1991, mentre la porzione più consistente (65%) è stata realizzata tra il 1945 e il 1990; gli edifici antecedenti al 1945 costituiscono il 19% del totale. La soglia del 1991 corrisponde all'emanazione della Legge 10/91 che costituisce la prima legge italiana che attua il piano energetico nazionale fissando le direttive per il risparmio energetico in edilizia e sostituisce la Legge 373/76 che forniva le prime indicazioni in materia a seguito della crisi petrolifera. Di conseguenza si può affermare che solo il 16% del patrimonio edilizio italiano è stato concepito negli ultimi due decenni e presenta caratteristiche di prestazioni energetiche, almeno formal-

mente adeguate. La quota più consistente dell'edificato è invece stata realizzata a partire dagli anni '60 e fino agli anni '80, nel periodo del boom economico e della massima speculazione edilizia. Si tratta di un patrimonio che generalmente non ha ancora subito rilevanti interventi di modificazione e di aggiornamento prestazionale quindi sono edifici dove molte componenti sono state progettate e realizzate secondo standard che non sono più considerabili adeguati (aspetti di resistenza alle scosse sismiche, prestazioni energetiche, dotazioni impiantistiche per il raffrescamento estivo, la ventilazione e le reti dati). Per questi motivi, questi immobili saranno oggetto di ristrutturazioni consistenti nell'arco dei prossimi decenni.

Le caratteristiche dei fabbricati demoliti a Case Nuove rispecchiano con buona approssimazione il patrimonio residenziale diffuso per caratteristiche costruttive e per soglie storiche. Per questo motivo gli esiti della ricerca condotta possono essere applicati al patrimonio italiano, costituendone un campione significativo per la tipologia degli edifici bassi (entro i 3 piani fuori terra) e dell'edificato diffuso (mono-bifamiliari, plurifamiliari fino a 6 unità). Dagli esiti della ricerca si evince che gli impatti ambientali conseguenti alla demolizione e smaltimento di questi edifici sono nel complesso molto limitati: prendendo ad esempio i consumi di energia, il valore riferito al fine vita è di 4,78 kWh/m², ovvero di poco inferiore ai 6 kWh/m² ipotizzati da Peuportier et al. (2013). Se questo valore viene confrontato con un consumo medio per riscaldamento di un edificio in Classe B per un periodo di 30 anni equivale allo 0,31%, dato che conferma quanto affermato da alcuni autori i quali ritengono marginale l'impatto della fase di fine vita nelle costruzioni (Sartori e Hestnes, 2007; Ortiz-Rodriguez et al., 2010; Tae et al., 2011; Sodagar et al., 2011; Wu et al., 2012).

La scelta tra un intervento di demolizione ed uno di ristrutturazione integrale non può certamente prescindere dalla verifica della possibilità tecnico-economica di adeguare le prestazioni dell'edificio esistente e di renderlo funzionalmente efficiente in caso di cambio di destinazione d'uso. Dal punto di vista ambientale, è vero che nel caso della ristrutturazione esiste un vantaggio in termini di prodotto evitato ma è altresì importante considerare il fatto che spesso la ristrutturazione richiede ingenti interventi di ripristino e adeguamento che implicano significativi impatti ambientali. In molti casi, la demolizione può consentire l'attuazione di piani di ristrutturazione urbana che consentono un più ra-

zionale impiego della risorsa suolo e garantiscono una maggiore qualità all'edificato. In tal senso, la riduzione degli impatti sull'uso del suolo possono essere perseguiti attraverso strategie di intensificazione delle modalità d'uso degli spazi e densificazione della struttura edilizia e urbana. In merito alla fase di fine vita, si sottolinea come non solo il riciclo degli inerti da demolizione ma anche il loro trattamento secondo modalità opportune consente di ridurre gli impatti sull'uso del suolo.

4.2. Il riciclo dei rifiuti: upcycling e downcycling

Come anticipato nell'introduzione, lo spunto di questo studio deriva dalla Direttiva Europea 2008/98/CE "relativa ai rifiuti" che impone entro il 2020 il riciclo di almeno il 70% dei materiali a fine vita, calcolato in termini di peso. La ricerca intende quindi verificare la possibilità di centrare l'obiettivo posto dalla norma a seguito degli interventi di demolizione nell'ambito dell'edilizia consolidata.

I risultati conseguiti sul campione di 51 edifici sembrano essere estensibili sul patrimonio consolidato italiano e dimostrano come la presenza di una quantità di materiali inerti che assommano al 97% del peso complessivo dei rifiuti generati dal processo di demolizione renda superflua qualsiasi analisi sulle altre componenti materiche, ai fini del rispetto del vincolo normativo. Se ne deduce quindi che se è possibile avviare al riciclo la componente inerte, allora il risultato positivo è automatico, viceversa diviene inarrivabile.

Ciò detto è utile condurre una riflessione in merito ai rifiuti inerti e alla loro natura. All'articolo 11, punto 2, comma b della normativa citata, le "operazioni di colmatazione che utilizzano i rifiuti in sostituzione di altri materiali e i rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi" sono incluse tra le opzioni di riutilizzo e riciclaggio ammissibili. Il destino più frequente per ragioni di convenienza economica e di processo dei rifiuti inerti è quindi la frantumazione e il successivo re-impiego per realizzare massetti e sottofondi e per le operazioni di riempimento, in sostituzione del materiale drenante di cava. Questo genere di applicazione si configura come un reimpiego dequalificante del rifiuto, ovvero un'operazione di downcycling, poiché le prestazioni chimico-fisiche, meccaniche, energetiche ed estetiche richieste per la colmata o la formazione di massetti e sottofondi sono molto scarse, talvolta inesistenti o proprie del materiale in qualsiasi forma. Sebbene le operazioni di riciclo dovrebbero tendere ad una riqualificazione del rifiuto, garantendogli una

seconda vita di qualità e aumentandone di conseguenza il valore economico, l'impiego degli inerti riciclati per applicazioni di qualità (upcycling) è ancora scarso, particolarmente in Italia. Applicare il concetto di upcycling significherebbe impiegare le macerie da demolizione per generare aggregati inseribili nella produzione del calcestruzzo, confezionando un prodotto con caratteristiche specifiche classificabili, controllabili e ripetibili. Questo processo è attualmente poco sviluppato per la difficoltà di controllare e garantire un livello qualitativo degli aggregati soddisfacente e continuativo. Per questo motivo la normativa italiana consente l'impiego di aggregati da riciclo in percentuali comprese tra 5% e 100% in relazione alla classe di resistenza del calcestruzzo ma prescrive idonee prove di laboratorio da ripetersi ogni 100 tonnellate di miscela prodotta. La necessità di effettuare le prove di controllo con tale frequenza scoraggia l'impiego di aggregati di riciclo per la produzione di calcestruzzi in Italia. In altri paesi europei come Danimarca, Paesi Bassi, Regno Unito, Germania, Francia e Svizzera le percentuali di riciclo del calcestruzzo e le quantità di miscela prodotte con aggregato riciclato sono decisamente superiori.

In merito a qualità e composizione degli inerti da demolizione, è opportuno però sottolineare che nei paesi del centro-nord Europa è in uso la realizzazione dei solai strutturali come elementi monolitici in calcestruzzo, rendendo questi elementi materialmente uniformi alle fondazioni e agli elementi in elevazione come pilastri e setti. Nei territori dell'Europa meridionale, particolarmente in Italia, Spagna, Portogallo e Grecia, è invece abitudine realizzare in calcestruzzo solo le fondazioni, gli elementi verticali e i controventi mentre i solai sono costruiti con elementi di alleggerimento in laterizio e un getto di completamento in calcestruzzo. Questa scelta tecnologica rende il rifiuto derivante dalla demolizione delle strutture portanti non omogeneo. Inoltre la quantità di inerti ricavabile dalla demolizione delle murature verticali portanti, di tamponamento o di partizioni sono decisamente superiori alle quantità relative alle strutture intelaiate e agli elementi dei piani interrati, realizzati sempre e solo in calcestruzzo. Con riferimento allo studio condotto, è possibile affermare che circa il 67% (18.409 t) del totale degli inerti di risulta è composto da laterizi, elementi ceramici, malte e calcestruzzi non separabili; al contrario, solo il 33% (9.182 t) può essere considerato calcestruzzo puro e può quindi originare aggregati non contaminati da altri elementi. In tal senso, se si

considera la quantità complessiva dei rifiuti prodotti dalla demolizione, la somma di inerti da calcestruzzo, metalli, legno e altri materiali riciclabili raggiunge solo il 34,5%, ovvero la metà del limite richiesto dalla direttiva europea.

I valori percentuali citati sono riferiti all'intero ammontare delle macerie prodotte ma se si entra nel dettaglio delle tipologie degli edifici i rapporti tra i due materiali variano sensibilmente. In particolare, nelle unità costruite tra il '700 e il '900, la quota degli inerti da laterizio sale fino all'89% a causa dello spessore delle murature portanti, dell'impiego di laterizi pieni e non forati, della scarsa presenza di sistemi di fondazione, muri dei vani interati e rampe di scale realizzati in laterizi pieni e di una complessiva ridotta quantità di elementi solaio perché la maggior parte di questi immobili hanno una superficie utile ridotta e tipologie in linea con corpi di fabbrica a ridotta profondità. Al contrario, gli edifici degli anni '60 vedono una riduzione della quota di laterizio al 59% per l'utilizzo di elementi forati in elevazione e di strutture in calcestruzzo per muri contro terra e rampe di scale.

5. CONCLUSIONI

Lo studio qui presentato si è posto l'obiettivo di valutare la natura e il profilo ambientale dei rifiuti prodotti nella demolizione di 51 edifici residenziali mono-bifamiliari e plurifamiliari fino a 6 unità. I risultati ottenuti hanno evidenziato l'elevata preponderanza dei materiali inerti che assommano al 97% del totale. Gli esiti della valutazione ambientale sono quindi largamente influenzati dalle strategie di trattamento adottate per essi: la frantumazione e il reimpiego direttamente in sito per colmare i vuoti lasciati dai piani interrati demoliti consente la riduzione di 25 volte dei consumi di energia rinnovabile, minori emissioni di gas climalteranti e minore uso di suolo. La preponderanza degli inerti determina una bassa influenza delle strategie adottate per gli altri materiali e, in riferimento alla Direttiva Europea 2008/98/CE, la possibilità di centrare o meno l'obiettivo del 70% dei rifiuti avviati al circuito del riciclo. Appare chiaro che, in merito all'edilizia diffusa italiana delle tipologie analizzate, il tema degli impatti ambientali della fase di fine vita dipendono dalle modalità di gestione dei rifiuti inerti, per i quali è necessario migliorare la diffusione delle pratiche di riciclo upcycling per la produzione di calcestruzzi con inerti riciclati.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Accordo di Programma Quadro (2000-2007) Aeroporto intercontinentale di Malpensa 2000 – Interventi di mitigazione d'impatto ambientale e di delocalizzazione degli insediamenti residenziali ricompresi nell'ambito territoriale prioritario del Piano Territoriale d'Area Malpensa, ed in particolare, siti nel territorio dei Comuni di Somma Lombardo, Lonate Pozzolo e Ferno, adiacenti al sedime aeroportuale.
- ALER (2014) Bando di gara per l'appalto di demolizione.
- ALER (2014) Richiesta di autorizzazione ambientale paesaggistica per lavori di demolizione di parte degli edifici rientranti nella disponibilità dei comuni a seguito della delocalizzazione degli insediamenti residenziali nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro di Malpensa 2000 finalizzati alla riqualificazione urbanistica delle aree.
- Blengini G.A. (2009) Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. *Building and Environment* 44:319-330.
- Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio 2008/98/CE del 19 Novembre 2008, Relativa ai rifiuti.
- Ecoinvent 3 database. <http://www.ecoinvent.org/database>.
- European Union (2010) ILCD Handbook. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eurostat (2012) Statistiche sui rifiuti. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/it.
- Iyer-Raniga U., Chew Wong J.P. (2012) Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia. *Building and Environment* 47:138-149.
- ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
- ISO 14044:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
- Ispira (2015) Rapporto Rifiuti Spaciali. Roma: Ispira.
- Ortiz-Rodriguez O., Castells F., Sonnemann G. (2010) Life cycle assessment of two dwellings: one in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Science of the Total Environment* 408:2435-2443.
- Peuportier B., Thiers S., Guiavarch A. (2013) Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 39:73-78.
- PRé Consultants. SimaPro 8. <http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>.
- Sartori I., Hestnes A.G. (2007) Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy and Buildings* 39:249-257.
- Sodagar B., Rai D., Jones B., Wihan J., Fieldson R. (2011) The carbon reduction potential of straw-bale housing. *Building Research & Information* 39:51-65.
- Tae S., Shin S., Woo J., Roh S. (2011) The development of apartment house life cycle CO₂ simple assessment system using standard apartment houses of South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:1454-1467.
- Wu H.J., Yuan Z.W., Zhang L., Bi J. (2012) Life cycle energy consumption and CO₂ emission of an office building in China. *International Journal of LCA* 17:105-118.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2015 è sostenuta da:



Veolia Water Technologies Italia S.p.A.



UNICALCE

Innoviamo la tradizione



comieco

Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo
degli Imballaggi a base Cellulosica

