

Il testo è stato sottoposto al processo di valutazione double-blind peer review

Immagini e disegni in copertina:

- Colata di calcestruzzo all'interno dei blocchi Isotex, blocchi cassero di legno-cemento (*Isotex S.r.l.*)

- Solaio contro terra realizzato con casseri a perdere di plastica riciclata (igloo) (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)

- Montaggio della facciata a cellule indipendenti del Solar Carve Tower, grattacielo sulla High Line a Manhattan (NY) – 40 Tenth Avenue (*Focchi S.p.A.*)

- Ferri di armatura e casseri per la realizzazione di una fondazione a trave rovescia (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)

- Sezione verticale di una parete realizzata con blocchi Ytong e serramento di PVC con cassonetto. Solaio di latero-cemento con travetti prefabbricati di tipo tralicciato con fondello di laterizio, pacchetto per il riscaldamento a pavimento e pavimentazione realizzata con listelli di parquet (*Elaborazione di Valentina Puglisi*)

ISBN 978-88-916-3058-2

© **Copyright 2019 Maggioli S.p.A.**

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.

Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Il catalogo completo è disponibile su www.maggiolieditore.it area università

Finito di stampare nel mese di febbraio 2019 nello stabilimento Maggioli S.p.A
Santarcangelo di Romagna (RN)

4.1. Il processo costruttivo

Per processo costruttivo s'intende una «sequenza organizzata di fasi operative che portano dal rilevamento di esigenze al loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia»⁹⁶ per la realizzazione degli elementi strutturali e di ogni altra parte costitutiva dell'edificio, anche relativamente ai materiali, alle finiture, agli impianti, ecc.

«Il processo edilizio, a qualsiasi scala esso si svolga, deve essere guardato come un'operazione tecnica nel corso della quale un committente, per entrare in possesso di un manufatto rispondente ai suoi bisogni, fornisce informazioni e risorse ad un operatore del progetto, affinché questi concepisca e renda costruibile quel manufatto attraverso il ricorso a strutture produttive specializzate»⁹⁷.

Il processo edilizio deve quindi intendersi come una sequenza coordinata di fasi che, partendo dalla programmazione generale degli interventi, porta all'attuazione dei medesimi e si conclude con la gestione degli insediamenti realizzati. Gli obiettivi generali del processo edilizio sono connessi con la realizzazione e la gestione di un'opera civile o di un'architettura che garantisca:

- la qualità complessiva e la sua realizzazione in tempi definiti e ottimizzati;
- l'ottimizzazione dell'uso delle risorse impegnate, interne ed esterne all'organizzazione;

⁹⁶ Norma UNI 7867-1:1978, *Edilizia. Terminologia per requisiti e prestazioni. Nozioni di requisito e di prestazione*. Tale contiene le definizioni di esigenza, requisito e prestazione:

- *esigenza*, ciò che di necessità si richiede per il corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica;
- *requisito*, traduzione di un'esigenza in fattori (caratteristiche funzionali) atti a individuare le condizioni di soddisfacimento da parte di un organismo edilizio o di sue parti spaziali o tecniche, in determinate condizioni d'uso e di sollecitazione;
- *prestazione* edilizia, servizio reso e comportamento reale dell'organismo edilizio e delle sue parti nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione.

⁹⁷ Sinopoli, N. (1997), *La tecnologia invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regie*, Franco Angeli, Milano (MI).

- l'economia della produzione e della gestione in relazione alle previsioni e alle condizioni di mercato.

Il processo edilizio può essere esplicitato attraverso la sequenza cronologica delle seguenti fasi: programmazione, progettazione, realizzazione, gestione e dismissione.

La **programmazione** (fase strategica) consiste in:

- *rilevamento delle esigenze*;
- *scelta dell'obiettivo*;
- *studio o progetto di fattibilità*: «è il documento che presenta [...] gli obiettivi strategici di un'iniziativa di sviluppo o di valorizzazione immobiliare. [...] è uno strumento decisivo per la valutazione della congruenza delle scelte compiute in ambito progettuale, sia architettonico, sia impiantistico che economico-finanziario per uno sviluppo immobiliare»⁹⁸;
- *definizione dell'intervento edilizio*.

La **progettazione** (fase ideativa) deve assicurare la qualità dell'opera e la sua rispondenza alle finalità definite, la conformità alle norme ambientali ed urbanistiche e il soddisfacimento dei requisiti. Si articola nei seguenti livelli:

- *metaprogetto*: è un'attività progettuale di natura teorica che ha per obiettivo la gestione e l'indirizzo strategico del processo di transizione tra la fase di istruttoria del progetto (raccolta dei dati e analisi) e la fase di formalizzazione e sintesi dello stesso;
- *progetto preliminare*⁹⁹: definisce le caratteristiche qualitative e funzionali dei lavori, il quadro delle esigenze da soddisfare e delle specifiche prestazioni da fornire. Consiste in:
 - o una relazione illustrativa delle ragioni della scelta della soluzione prospettata con riferimento a: profili ambientali, utilizzo dei materiali provenienti dalle attività di riuso e riciclaggio, fattibilità tecnico-amministrativa e costi;
 - o alcuni schemi grafici per l'individuazione dei caratteri dimensionali, volumetrici, tipologici, funzionali e tecnologici dei lavori da realizzare;
- *progetto definitivo*¹⁰⁰: individua i lavori da realizzare, nel rispetto delle esigenze, dei criteri, dei vincoli, degli indirizzi e delle indicazioni stabiliti nel progetto preliminare e contiene tutti gli

⁹⁸ Mangiarotti, A., Tronconi, O. (2010), *Il progetto di fattibilità. Analisi tecnico-economica e sistemi costruttivi*, McGraw-Hill, Milano (MI), p.15.

⁹⁹ Legge 11 febbraio 1994, n. 109 (L. Merloni), *Legge quadro sui lavori pubblici*.

¹⁰⁰ Legge 11 febbraio 1994 (L. Merloni), n. 109, *Ibidem*.

elementi necessari ai fini del rilascio delle autorizzazioni. Consiste di:

- una relazione descrittiva dei criteri utilizzati per le scelte progettuali, nonché delle caratteristiche dei materiali prescelti e dell'inserimento delle opere sul territorio;
- uno studio di impatto ambientale, di tipo geognostico, idrogeologico e sismico (ove previsti);
- disegni descrittivi delle principali caratteristiche delle opere, delle superfici e dei volumi, compresi quelli per l'individuazione del tipo di fondazione;
- una serie di studi ed indagini per il dimensionamento preliminare delle strutture e degli impianti;
- un disciplinare descrittivo degli elementi tecnici ed economici previsti in progetto;
- un computo metrico-estimativo di massima;
- **progetto esecutivo**¹⁰¹: determina in ogni dettaglio i lavori da realizzare ed il relativo costo. Deve consentire che ogni elemento sia identificabile in forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo. È costituito da:
 - una serie di relazioni e calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti;
 - degli elaborati grafici nelle scale adeguate, compresi gli eventuali particolari costruttivi;
 - un capitolato speciale di appalto, prestazionale o descrittivo;
 - un computo metrico-estimativo;
 - un piano di manutenzione dell'opera.

La **realizzazione** (fase esecutiva) si articola nelle seguenti fasi:

- **affidamento dell'appalto**: viene definito in base a diversi fattori, tra cui la tipologia dell'opera da realizzare, le sue dimensioni e altre motivazioni che vengono prese in considerazione dal responsabile del procedimento amministrativo. Per la scelta della ditta che eseguirà i lavori, gli enti pubblici tendono a favorire l'offerta economicamente più vantaggiosa. Le metodologie che possono essere eseguite per l'affidamento di un'opera sono:
 - la **procedura aperta** (definita "pubblico incanto" dalla Legge 109 del 1994): è detta anche gara d'appalto o procedura a evidenza pubblica. Ad essa possono partecipare tutte le ditte che facciano richiesta, purché

¹⁰¹ Legge 11 febbraio 1994 (L. Merloni), n. 109, *Ibidem*.

- abbiano i requisiti richiesti dalla tipologia del lavoro o all'importo;
- la *procedura ristretta* (definita "licitazione privata" dalla Legge 109 del 1994): possono partecipare alla gara per l'affidamento dei lavori tutte le ditte invitate dalla stazione appaltante;
 - la *procedura negoziata* (definita "trattativa privata" dalla Legge 109 del 1994): i concorrenti vengono scelti e invitati alla gara d'appalto dalla stazione appaltante. Anche in questo caso le imprese devono essere in possesso dei requisiti necessari. A questo tipo di gare devono essere invitate almeno 5 aziende («se sussistono aspiranti idonei in tale numero»¹⁰²);
 - l'*appalto concorso*: è la forma più complessa di affidamento dei lavori che può essere considerata simile alla licitazione privata per quanto riguarda la limitazione sul numero di imprese partecipanti. Dal punto di vista economico l'aggiudicazione prescinde dal prezzo più conveniente. In questo caso, infatti, la natura economica dell'offerta non costituisce l'elemento fondamentale della gara, ma viene valutata unitamente all'aspetto qualitativo delle prestazioni da appaltare e alle caratteristiche professionali dell'impresa. Quest'ultima sarà chiamata ad elaborare il progetto e verrà coinvolta tecnicamente nell'iniziativa;
 - la *concessione*: è una forma meno usata perché si addice soltanto a lavori di notevole entità. Consiste nell'affidamento dei lavori da parte della Pubblica Amministrazione ad altro ente pubblico o privato che può provvedere direttamente all'esecuzione dell'opera o gestire l'operazione facendo eseguire i lavori ad altri (sempre mediante appalto);
- *selezione dei partecipanti e gara*;
 - *stipula del contratto*;
 - *nomina del Direttore dei Lavori e del collaudatore*;
 - *gestione e controllo delle fasi esecutive*;
 - *collaudo e accettazione dell'opera*;

¹⁰² Patrito, P. (2009), *Appalti, limiti per gli affidamenti*, Italia Oggi, p. 20.

- *nomina del responsabile del procedimento*¹⁰³: deve coordinare le fasi del progetto e deve rispondere a terzi per le comunicazioni di legge.

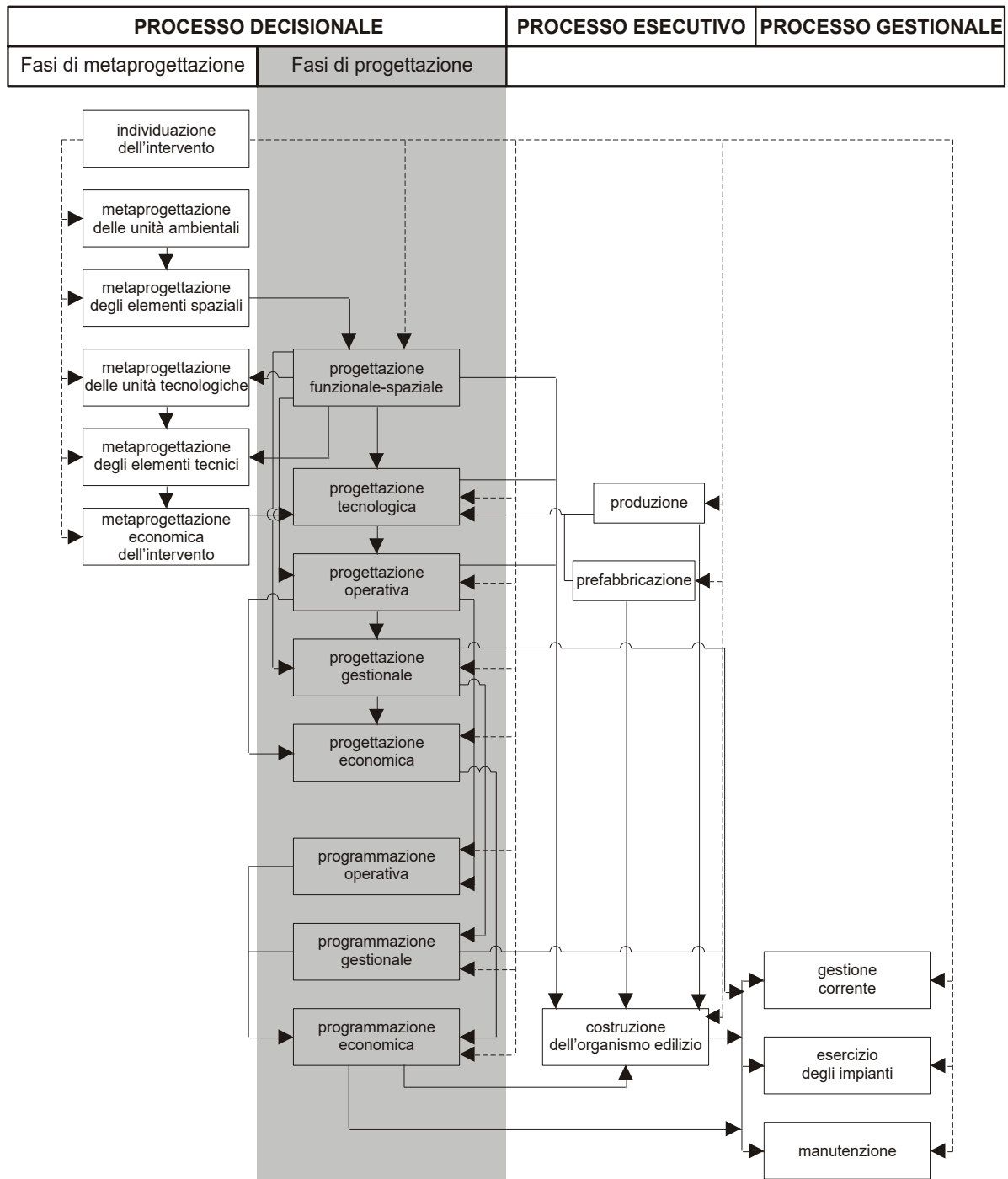


Fig. 4.1: Sequenza temporale, relazione e vincoli delle fasi processuali.
 Fonte: Norma UNI 10723, Appendice A¹⁰⁴.

¹⁰³ D.Lgs. 18 aprile 2016, n. 50, Nuovo Codice dei contratti pubblici 2018.

La **gestione** (fase d'uso, di manutenzione e controllo)¹⁰⁵ si articola nelle seguenti fasi:

- *gestione corrente*: è un'attività finalizzata a mantenere l'opera in condizioni ottimali;
- *esercizio degli impianti tecnici*: in base alle istruzioni contenute nei piani di gestione e secondo il calendario stabilito dal programma di gestione;
- *manutenzione ordinaria*: «combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta»¹⁰⁶;
- *manutenzione straordinaria*: consiste in degli interventi concernenti la realizzazione di opere volte al rinnovamento o alla sostituzione di parti degli edifici esistenti e la realizzazione e l'integrazione di servizi igienico-sanitari e tecnologici¹⁰⁷;
- *recupero/riuso*: comprende le attività di sostituzione parziale dell'opera in relazione al degrado funzionale irreversibile degli elementi costruttivi e/o a un cambio di destinazione d'uso;
- *demolizione*: si tratta di un'attività conseguente alla constatazione del degrado irreversibile dell'intera opera.

Nella **dismissione** (fase di riuso/riciclaggio) il "Life Cycle Assessment" consiste in una serie sistematica di procedure per la valutazione degli input e degli output di materia ed energia e i relativi impatti ambientali derivanti dal funzionamento di un sistema di produzione durante tutto il ciclo di vita.

4.1.1. Gli attori del processo edilizio

Nel processo edilizio operano una serie di Enti a cui è attribuito, nelle diverse fasi, un ruolo e dei compiti specifici:

- gli *Enti Pianificatori*: cui spettano le scelte di fondo e di programmazione ai vari livelli;

¹⁰⁴ Norma UNI 10723:1998, *Processo edilizio - Classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione*.

¹⁰⁵ La Legge sui Lavori Pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 (L. Merloni), all'art. 16 e il Regolamento di attuazione della legge, all'art. 40, prescrivono che «il progetto esecutivo deve essere corredato di un piano di manutenzione costituito da: Manuale d'uso, Manuale di manutenzione e Programma di manutenzione».

¹⁰⁶ Norma UNI EN 13306:2018, *Manutenzione - Terminologia di manutenzione*.

¹⁰⁷ D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia*.

- gli *Enti Normatori*: cui spettano l'emanazione e l'aggiornamento delle norme riguardanti il processo;
- gli *Enti Decisionali e di Controllo*: cui spetta il controllo del processo edilizio per quanto riguarda sia le responsabilità decisionali, sia la verifica di rispondenza del processo alla normativa;
- gli *Enti di Attuazione*: cui spetta l'attuazione degli interventi;
- gli *Enti di Ricerca e Progettazione*: cui spettano la ricerca e la progettazione relativa al sistema residenziale ed al prodotto edilizio;
- gli *Enti di Esecuzione e Produzione*: cui spetta la produzione del prodotto edilizio.

Al di sopra di tutti questi Enti esiste l'Utenza, cui spetta l'uso dei beni finali ed a cui ogni Ente deve o dovrebbe fare continuamente riferimento. Essa interviene nelle varie fasi con peso diverso configurandosi come principale soggetto che, qualora operi in qualità di Committenza, diventa anche uno dei principali Enti Attuatori presenti nel processo.

Il Committente è la figura principale di qualsiasi operazione, infatti in qualità di proprietario, è l'unico che ha il titolo per intervenire sulle trasformazioni del territorio.

Durante la fase progettuale intervengono come suoi delegati, sia per la progettazione che per la sicurezza, i professionisti, mentre il controllo del progetto è compito degli Enti a cui è demandata l'applicazione della normativa vigente.

Nella fase esecutiva, accanto ai professionisti e agli Enti controllori, interviene l'impresa a cui è affidato il compito della realizzazione dell'opera.

4.1.2. L'evoluzione del processo costruttivo

Nel passato il processo costruttivo era basato sul sistema costruttivo tradizionale, ovvero nella realizzazione di murature portanti.

Il processo costruttivo iniziava con le operazioni di scavo, realizzate manualmente con pala e piccone; proseguiva con la posa dei corsi di mattoni per realizzare le murature portanti e si concludeva con la realizzazione della copertura.

Negli ultimi 30 anni, l'industria delle costruzioni ha subito rilevanti modifiche. Da una parte si sono sperimentate tecnologie costruttive sempre più evolute per la produzione di elementi tecnici; dall'altra si è proceduto verso una razionalizzazione del cantiere sempre più spinta.

Ciò ha portato inevitabilmente a un contenimento dei costi di produzione, spesso in conflitto con la qualità finale degli edifici.

L'evoluzione delle tecnologie costruttive è stata, nel tempo, divulgata attraverso una produzione manualistica¹⁰⁸.

Con l'introduzione del calcestruzzo armato si è realizzato per la prima volta nella storia una forte differenziazione delle operazioni costruttive. Tale materiale ha condotto, infatti, ad una netta separazione tra le attività destinate alla realizzazione di fondazioni, strutture portanti (verticali e orizzontali) e opere di completamento (finiture ed impianti).

Questa distinzione in fasi del processo costruttivo è stata nel tempo ulteriormente accentuata dallo sviluppo:

- del *macchinario da cantiere*: escavatori, pale per la movimentazione del terreno, centrali di betonaggio per la produzione di grandi quantità di calcestruzzo, gru di diverso tipo per il sollevamento dei carichi in quota (derrick, blondin, a torre, ecc.);
- di *molteplici tipologie di attrezzature*: casserature per getti di cemento armato, intonacatrici, ecc.;
- di *materiali innovativi*: colle, materiali sigillanti, schiume a rapida espansione, isolanti termici ed acustici, rivestimenti di varie tipologie, vetri speciali, ecc.

In conseguenza di questo fenomeno, la prima fase del processo costruttivo (scavi e fondazioni) ha subito un accentuato processo di "industrializzazione" (grazie all'introduzione del macchinario di cantiere) e di "specializzazione" (grazie alla formazione di imprese specificatamente orientate a questa attività).

Ciò ha portato a una sempre più netta differenziazione tra le tre fasi che costituiscono il processo costruttivo.

4.1.3. Le fasi del processo costruttivo

Il processo costruttivo può essere suddiviso in tre fasi principali:

- la preparazione del terreno, la realizzazione degli scavi e delle fondazioni dell'edificio;
- l'elevazione della struttura portante verticale ed orizzontale. In questo caso il procedimento varia a seconda del sistema costruttivo utilizzato (sistema costruttivo tradizionale, razionalizzato o ibrido, industrializzato a piè d'opera o prefabbricato). La struttura portante costituisce l'ossatura dell'edificio. Il suo compito è quello di sopportare e trasmettere

¹⁰⁸ CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche (2010), *Il manuale dell'architetto*, Sapere 2000 Edizioni Multimediali, Roma (RM).

alle fondazioni (e quindi al terreno) i carichi agenti sulla costruzione;

- la realizzazione delle chiusure verticali esterne opache e delle finiture, ovvero delle partizioni interne, dei rivestimenti orizzontali e verticali (esterni ed interni all'edificio), delle opere di completamento e degli impianti (partizioni interne, rivestimenti, opere di completamento, ecc.). Nell'ambito di questa terza fase è necessario distinguere tra le operazioni di natura edile e quelle impiantistiche. Si tratta di una fase complessa caratterizzata da una molteplicità di operazioni e manodopera specializzata e da costi elevati (le finiture influiscono più del 50% sul costo complessivo della costruzione).

Oggi la realtà della maggior parte dei cantieri di media/grande dimensione vede applicato il modello del cantiere come "luogo di assemblaggio" più che come un "luogo di produzione" del manufatto edilizio. Infatti, la "fase 3" è oggi caratterizzata da un numero elevato di soggetti specializzati che intervengono in maniera mirata su una singola lavorazione, con un ricorso sempre più frequente a tecniche costruttive a secco e di rapida esecuzione. L'unico momento ancora legato alla "produzione in loco" nella sua interezza è la fase 1.

Ne consegue la sempre maggior importanza che ricoprono le figure di coordinamento dell'intera filiera produttiva all'interno di un cantiere di media complessità. In una sola parola: *Project Management*.

4.2. Il sistema costruttivo tradizionale

Il sistema costruttivo tradizionale prevede la realizzazione di ogni elemento direttamente in cantiere utilizzando tecniche, attrezzature e impianti che posseggono requisiti del tutto tradizionali.

Con il termine "sistema costruttivo tradizionale" s'intende il processo costruttivo finalizzato alla realizzazione di murature portanti di laterizio, calcestruzzo e, in casi più limitati, di pietrame.

Questo sistema connota i criteri diffusi con la cultura occidentale e dell'architettura montana che ancora si utilizzano per realizzare edifici di modeste dimensioni. È caratterizzato dall'utilizzo di materiali naturali come pietrame, laterizi e legno (materiali reperibili in loco).

Tale sistema è caratterizzato da un procedimento a basso contenuto tecnologico e ad alto contenuto di lavoro. Prevede, infatti, l'utilizzo di casseforme a perdere, costituite da elementi che svolgono la funzione di contenimento del getto di calcestruzzo per un unico ciclo di lavorazione, dopo il quale o vengono dismesse oppure restano a costituire parte integrante dell'elemento costruttivo realizzato.

Le fasi costruttive per la realizzazione sia di elementi verticali che orizzontali con il sistema costruttivo tradizionale sono:

- la costruzione delle casseforme per la realizzazione dei pilastri e delle travi;
- la preparazione e la posa in opera delle armature metalliche;
- il posizionamento degli elementi del solaio;
- il getto del calcestruzzo dei pilastri fino all'intradosso delle travi;
- il getto del calcestruzzo delle travi e il completamento dei solai;
- l'eventuale disarmo delle casseforme.



Fig. 4.2: Sistema costruttivo tradizionale: realizzazione dei tramezzi interni, dei pilastri e delle murature di tamponamento esterne.

La preparazione dei casseri è un'operazione lunga e importante. La loro funzione è quella di conformare il getto secondo la dimensione e la forma prevista dal progetto.

La *cassaforma* non è solo uno stampo ma anche una struttura provvisoria che deve sopportare il proprio peso, quello del getto e quello degli altri carichi accidentali durante il lavoro (persone, materiali, ecc.). Devono, quindi, essere rigide e resistenti ai carichi costruttivi, stabili per

mantenere la loro posizione fino al disarmo e possibilmente recuperabili. Tradizionalmente le casseforme venivano realizzate di legno ma, per un affinamento delle tecniche costruttive ed una richiesta di rilievo sempre maggiore per una finitura a vista delle strutture, sono stati affiancati altri materiali come il metallo e la plastica.

Oggi esistono due principali tipologie di soluzioni tecnologiche:

- le *casseforme costituite da blocchi cavi*: utilizzano materiali leggeri quali polistirene espanso o fibre di legno mineralizzato in impasto cementizio, realizzando pareti o pilastri cavi entro i quali possono essere poste le armature e, successivamente, eseguito il getto di calcestruzzo. La modularità degli elementi e la conformazione degli incastri permette velocità di posa, mentre i materiali costituenti, una volta protetti dagli strati di intonaco superficiale, garantiscono l'eliminazione dei ponti termici e prestazioni di isolamento termico e acustico;
- le *casseforme costituite da pannelli di materiali isolanti, fibre di legno mineralizzato, polistirene espanso o schiume poliuretatiche*: i pannelli impiegati per il contenimento del getto restano successivamente a costituire gli strati di isolamento degli elementi costruttivi realizzati.

Entro le cassature vengono alloggiare e posizionate le armature verticali e orizzontali, opportunamente vincolate ai ferri delle strutture precedentemente realizzate e, successivamente, viene fatto il getto di calcestruzzo a completare l'elemento costruttivo.

La formazione delle cassature viene eseguita prima per le strutture verticali e poi per quelle orizzontali in modo da costituire un'unica forma per i telai da realizzare. Successivamente vengono posati gli elementi tecnici dei solai. Il getto viene eseguito generalmente in due momenti: il primo getto viene effettuato per realizzare tutti i pilastri, collegando in tal modo le armature del piano inferiore con quelle del piano in formazione, fino all'intradosso delle travi; il secondo allorché si opera il completamento dei solai. Per realizzare una maggiore garanzia di resa strutturale degli elementi tecnici realizzati in opera occorre procedere al costipamento del getto attraverso vibratura; quando la maturazione del getto sarà terminata (entro 28 giorni) si procede alla scasseratura delle carpenterie.

4.3. Il sistema costruttivo razionalizzato o ibrido

Prevede la realizzazione di strutture portanti di calcestruzzo armato gettato in opera di diverse configurazioni (strutture intelaiate, a portale, a

setti, ecc.), consentendo l'utilizzo degli elementi caratteristici di altri sistemi costruttivi (sistema prefabbricato, tradizionale, ecc.).

Opportuni accorgimenti, come la regolarità della maglia strutturale e l'uniformità delle aperture, permettono di rendere omogenee le dimensioni geometriche degli elementi strutturali, di rendere ripetitive le operazioni e di riutilizzare le attrezzature, traendone complessivamente un significativo vantaggio in termini di efficienza produttiva e quindi economico.

Tale sistema comporta però alcuni difetti quali l'impiego di forza-lavoro non specializzata, la perdita di qualità delle maestranze e una disomogeneità qualitativa nel manufatto.

4.4. Il sistema costruttivo industrializzato a piè d'opera

Gli elementi strutturali (pareti e solai) vengono realizzati direttamente in cantiere "a piè d'opera" utilizzando diverse tipologie di casseforme metalliche reimpiegabili: il tunnel, il demi-tunnel e il banches et tables.

Le casseforme reimpiegabili sono costituite generalmente da pareti, elementi distanziatori e strutture esterne di contenimento delle pareti; possono inoltre prevedere dispositivi di centratura e messa a piombo e dispositivi provvisori per la fase di getto.

La tipologia più tradizionale di casseforma reimpiegabile è realizzata con assi e tavole di legno di abete. Queste vengono inchiodate fra loro e puntellate per mantenere la geometria richiesta durante le fasi del getto, evitando spancature o disassamenti.

Le superfici dei casseri possono essere realizzate anche con pannelli in modo da formare piccoli elementi modulari e componibili in multistrato di legno; con l'incremento dei carichi e delle dimensioni i pannelli sono irrigiditi da un telaio di legno o con profili di acciaio.

Le superfici delle casseforme vengono fissate tra loro per mezzo di staffe distanziatrici che attraversano le pareti opposte della cassaforma e vengono immobilizzate dall'esterno per mezzo di cunei. Per la realizzazione dei pilastri, gli elementi esterni sono posti a formare un "incamiciamento" delle sezioni a distanze che vanno ravvicinandosi verso il bordo inferiore del pilastro per contrastare il peso crescente del getto.

Gli elementi componibili sono dotati di sistemi di fissaggio rapido a passo modulare attraverso bullonature e incastri che contengono già gli alloggiamenti per i distanziatori; ciò per garantire movimentazioni e operazioni facilitate ai fini di accelerare i tempi e migliorare la produttività del cantiere.

Tutte le superfici di contenimento devono essere trattate per garantire impermeabilizzazione, durabilità e facilità di montaggio e smontaggio. La preparazione del getto prevede la bagnatura delle tavole grezze per evitare l'assorbimento dell'acqua contenuta nel getto oppure, nel caso di tavole già trattate con vernici impermeabilizzanti, la spalmatura delle superfici con liquidi che facilitino il disarmo; ad ogni ciclo di lavorazione le tavole vengono pulite da eventuali residui di calcestruzzo e ricondizionate.

Il sistema costruttivo industrializzato a piè d'opera determina un ciclo produttivo basato sulle 24 ore durante le quali vengono eseguite in serie le seguenti operazioni:

- posizionamento delle cassature metalliche;
- collocazione dei negativi (aperture, forometrie e vani tecnici per ogni tipologia di impianto);
- collocazione dei ferri di armatura nel calcestruzzo;
- gettata del calcestruzzo;
- vibrazione e compattamento del getto;
- chiusura delle estremità delle cassature metalliche con appositi teli.

Alla fine di tutte queste operazioni si procede all'accensione delle resistenze elettriche incorporate nelle cassature metalliche che diffondono calore "forzando" il processo di maturazione del calcestruzzo durante il periodo notturno.

Tra i pregi di tale sistema costruttivo si possono citare: la sicurezza/affidabilità delle lavorazioni e l'adattabilità/durabilità del manufatto.

4.4.1. Il tunnel

Il "tunnel" è stato ideato all'inizio degli anni 70 e veniva utilizzato per interventi di grandi dimensioni.

Le casseforme, movimentate da grandi gru di cantiere, vengono assemblate meccanicamente una di seguito all'altra fino a formare una "canna" di profondità, luce e altezza pari a quella di un piano dell'edificio. Dopo aver posizionato i vari negativi (finestre, porte, cavedi, ecc.), viene gettato il calcestruzzo. Il ciclo di lavorazione prevede la realizzazione di un alloggio al giorno.

La lunghezza di ciascun tunnel è di 2,5 metri mentre la larghezza può variare da un minimo di 1,25 fino ad un massimo di 6 metri.



Fig. 4.3: A sinistra il tunnel; a destra il demi-tunnel.
Fonte: Tronconi, O. (2008)¹⁰⁹.

4.4.2. Il banches et tables

Il “banches et tables” è una tecnica di derivazione francese che ha avuto un largo sviluppo tecnologico tra gli anni 70 e 90.

Oggi è largamente utilizzata per la produzione in opera di strutture in elevazione sia verticale che orizzontale di calcestruzzo armato e di solai di latero cemento o di calcestruzzo armato pieni.

Il vantaggio di questa tecnica è dato dalla velocità esecutiva che permette di avere cicli di lavorazione molto compattati: generalmente il disarmo delle attrezzature avviene il giorno seguente il getto e la modularità di assemblaggio dei singoli pannelli di armatura permette il loro riutilizzo in maniera seriale su elementi costruttivi tra loro simili (es. pilastri, vani scala, ecc.), accelerando ulteriormente la produttività in cantiere.

Questo sistema trova largo utilizzo nella realizzazione delle seguenti parti dell’edificio:

- murature di piani interrati (cantine, autorimesse, ecc.);
- getti di murature contro terra;
- strutture in elevazione (pilastri, setti murari di calcestruzzo armato, ecc.);
- vani scala e vani ascensore;
- solai misti di latero-cemento (con sistemi di casseratura ibridi a griglia) e solai pieni di calcestruzzo armato;
- falde di coperture inclinate di calcestruzzo armato.

¹⁰⁹ Tronconi, O. (2008), *Tecnologia dell’architettura*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).



Fig. 4.4: Il sistema “banches” per la realizzazione di una parete curva.



Fig. 4.5: Il sistema banches.

4.4.3. Sistemi di casseratura per solai unidirezionali e pieni

Il sistema di casseratura per solai unidirezionali e pieni è un sistema modulare di casseratura di tipo grigliato che ha la principale funzione di formare un piano di sicurezza pedonabile per gli operatori (si monta dal basso). Questi possono così lavorare in quota per la posa del solaio (travetti + pignatte) senza che sussista il rischio di caduta dall'alto.

Tale sistema è caratterizzato dall'utilizzo di una cassaforma leggera che permette la realizzazione di solai aventi uno spessore di 33 centimetri.

I graticci standard pesano circa 20 kg e sono messi in opera dal piano di appoggio della cassaforma e ruotati verso l'alto con l'ausilio dell'asta di montaggio. Successivamente, i puntelli per i solai con testa d'appoggio vengono agganciati ai graticci e posizionati verticalmente. I graticci formano così un impalcato di calpestio su cui è possibile appoggiare i pannelli di rivestimento. La sequenza di montaggio sistematica e ripetitiva permette di armare i solai con grande rapidità.

All'inizio, il sistema è fissato saldamente alla struttura dell'edificio, sia in direzione longitudinale che trasversale, tramite il supporto a parete. Questo rende il sistema sicuro, saldamente controventato durante tutte le fasi di montaggio.



Fig. 4.6: Il sistema grigliato tipo "Peri Gridflex".



Fig. 4.7: Il sistema grigliato tipo “Peri Gridflex”.



Fig. 4.8: Montaggio del sistema “Alumecono” (cantiere per l’ampliamento del Politecnico di Bovisa, Milano).
Fonte: Alsina S.r.l.



Fig. 4.9: Il sistema “Alumecano”: sistema di cassetteria recuperabile per solai reticolari con alleggerimenti a perdere, solai unidirezionali e solette piene (cantiere Podio Garibaldi, Porta Nuova, Milano).

Fonte: Alsina S.r.l.



Fig. 4.10: Il sistema “Alumecano” utilizza tre elementi di base (Portasopanda, Sopanda e Basculante in duralluminio (cantiere residenze Il Rondò, Moncalieri - TO).

Fonte: Alsina S.r.l.



Fig. 4.11: Il sistema “Alumecano”: 3 giorni dopo il getto, il sistema consente di recuperare il 100% dei pannelli e il 50% dei puntelli. (cantiere uffici via Darwin, Milano).

Fonte: Alsina S.r.l.

4.5. Il sistema costruttivo prefabbricato

La prefabbricazione è un processo che consiste nella preparazione, in luogo diverso dalla sede definitiva (il cantiere), degli elementi costitutivi di una struttura più o meno complessa e nel loro successivo trasporto e montaggio.

Si tratta di un sistema costruttivo che opera la scomposizione dell'edificio nelle sue parti componenti, realizza queste separatamente nelle sedi più idonee e trasforma il cantiere in un'officina di montaggio.

Indispensabile all'affermarsi di un'edilizia prefabbricata è la presenza di una scala di intervento che giustifichi un procedimento di tipo industriale e di una programmazione nel tempo degli interventi in grado di assicurare continuità alla produzione.

La prefabbricazione incide, nei modi e nei tempi, sull'attività costruttiva che si svolge nella fabbrica: questa non è più vista come una sede esclusiva per la realizzazione degli elementi costruttivi i quali, anziché

essere realizzati in opera, vengono costruiti in stabilimenti distribuiti sul territorio: si ha così la “*prefabbricazione fuori opera*”.

D'altra parte lo stabilimento può essere esterno alla fabbrica ma interno al cantiere: si ha così la “*prefabbricazione a piè d'opera*”.

Infine, sussiste la possibilità di operare all'interno della stessa fabbrica, cioè nell'ambito dell'area coperta dall'edificio: si hanno così la “*prefabbricazione a piè di fabbrica*” che consiste nella realizzazione a terra, all'interno del perimetro di base del fabbricato, dei componenti da collocare in quota per il sollevamento.

La prefabbricazione non costituisce sempre un'alternativa alla realizzazione in opera di un manufatto, ma può risultare una scelta obbligata per due motivi:

- l'elemento non è realizzabile in altro modo per le caratteristiche dei materiali impiegati e si ha così la prefabbricazione intrinseca al pezzo (per es. una colonna di ghisa, modellabile soltanto a caldo, non può che essere prefabbricata);
- l'opera da costruire comporta obbligatoriamente il ricorso alla prefabbricazione per ragioni d'impiego e/o di destinazione d'uso e si ha così la “*prefabbricazione intrinseca all'intera opera*”.

In ambedue i casi si individua un procedimento basato su operazioni di montaggio di componenti, tra loro integrabili, limitati in tipo e in numero.

Qualunque sia il motivo del ricorso alla prefabbricazione, il pezzo prefabbricato deve essere dell'opera da costruire parte sostanziale e compiuta, con specifiche caratteristiche morfologiche e precise correlazioni con le altre parti prefabbricate dell'edificio.

4.5.1. L'evoluzione storica della prefabbricazione

Lo sviluppo della prefabbricazione in Italia ha avuto il suo esordio nel primo dopoguerra, grazie alla combinazione di alcune condizioni favorevoli quali la necessità della ricostruzione del patrimonio edilizio dopo gli eventi bellici e la volontà di farlo in tempi brevi. Tale sviluppo è stato reso possibile dalla presenza di realtà imprenditoriali che già dagli anni 20 avevano avviato la produzione di elementi prefabbricati come i blocchi di calcestruzzo per le murature, i tubi per gli acquedotti e le fognature, i travetti per i solai e i pali di cemento armato centrifugato. Il primo campo a svilupparsi è stato quello della componentistica per i solai che ha portato alla realizzazione delle lastre predalles e dei pannelli alveolari, elementi che oggi sono tra le più diffuse tipologie di solaio soprattutto grazie alla loro semplicità di messa in opera.

Quando nel 1945 terminò il secondo conflitto armato, il fabbisogno edilizio (di dimensioni imponenti) non poteva essere risolto con le

tradizionali strutture della produzione edilizia. Si è così intensificata la tendenza verso la prefabbricazione per ottenere una maggiore riduzione dei tempi tecnici.

I programmi di ricostruzione nei vari paesi europei, anche se diversamente orientati per scelte culturali locali, concordavano sul principio di realizzare i nuovi quartieri residenziali periferici utilizzando un'edilizia sovvenzionata e sistemi costruttivi di tipo prefabbricato¹¹⁰.

4.5.2. I vantaggi e gli svantaggi della prefabbricazione

La prefabbricazione si è affermata nel mondo delle costruzioni soprattutto per i vantaggi che porta con sé, quali:

- una maggiore rapidità di esecuzione della costruzione, grazie al processo produttivo che avviene nelle aziende e che porta a una permanenza in cantiere minore rispetto al gettare in opera;
- una riduzione della manodopera e dell'attrezzatura necessaria per la posa in opera che conduce ad una minore congestione del cantiere;
- una migliore qualità dal punto di vista dei materiali dei vari elementi, grazie ai controlli di produzione e all'utilizzo di impianti di betonaggio ad alta tecnologia;
- una maggiore durabilità, data dalla migliore qualità della costruzione;
- una riduzione delle sezioni delle travi e dei solai che permettono la realizzazione di luci maggiori, grazie al metodo post-tensione per il collegamento degli elementi prefabbricati;
- un minore danneggiamento delle strutture prefabbricate rispetto a quelle tradizionali in caso di evento sismico, grazie alla realizzazione di nodi strutturali aventi dettagli costruttivi semplici.

A fronte di questi benefici bisogna considerare che la prefabbricazione porta con sé alcuni svantaggi, quali:

- lo sviluppo di metodi efficaci ed economici per collegare gli elementi prefabbricati in modo che possano resistere alle azioni sismiche e assicurare l'integrità del sistema;
- l'utilizzo di tecniche tradizionali per la realizzazione dei giunti tra gli elementi prefabbricati. La costruzione deve quindi essere eseguita con il massimo controllo della qualità per ovviare ai problemi legati all'isolamento termico;

¹¹⁰ Grecchi, M. (2001), *Industrializzazione e prefabbricazione edilizia. La Storia*, Epitesto, Milano (MI).

- un potenziale costo maggiore causato dall'utilizzo di mezzi e macchinari che consentano il sollevamento e il trasporto di elementi prefabbricati aventi dimensioni e pesi considerevoli;
- eventuali maggiori difficoltà nell'inserimento di un edificio in un determinato contesto.

4.5.3. Le fasi della prefabbricazione

La prima fase della prefabbricazione prevede la produzione degli elementi direttamente in officina. Questa avviene mediante stampi metallici (che costituiscono il negativo del pezzo che si vuole produrre) nei quali si cola il materiale e si lascia solidificare; per velocizzare la "maturazione" del calcestruzzo è possibile utilizzare delle centrali termiche. Sempre in officina vengono inseriti gli infissi e le tubazioni per gli impianti (idrico-sanitario, elettrico, telefonico, ecc.) e ogni altro accessorio.

Durante la seconda fase gli elementi finiti vengono trasportati in cantiere e assemblati (unendoli e agganciandoli tra di loro stabilendo un equilibrio statico che dia consistenza a tutto il complesso). Il trasporto dallo stabilimento al cantiere viene effettuato con auto-rimorchi speciali di grande portata (perché sia conveniente, il trasporto deve avvenire entro un raggio di 200 km).

4.5.4. La classificazione degli elementi prefabbricati

Gli elementi prefabbricati possono essere così classificati:

- gli *elementi prefabbricati al rustico*: il pezzo è prodotto al grezzo provvedendo in opera alle finiture (per es. un pannello di facciata da intonacare in opera, una trave di acciaio reticolare senza trattamento anticorrosione, un serramento da verniciare in opera, ecc.);
- gli *elementi prefabbricati semifiniti*: sono comprensivi di alcune finiture (per es. un pannello di facciata pre-intonacato da completare in opera con la tinteggiatura, una trave di acciaio reticolare con trattamento di zincatura da verniciare in opera, un serramento pre-verniciato, ecc.). In questa categoria rientrano anche gli elementi parzialmente prefabbricati specifici delle opere di cemento armato che richiedono getti di completamento realizzati in opera;
- gli *elementi prefabbricati al finito*: sono completamente rifiniti e soggetti in opera al semplice montaggio (per es. un pannello di facciata completo di rivestimento esterno e di strato di finitura

all'interno, una trave reticolare di acciaio pre-verniciata, un serramento completo di vetri, ecc.);

- gli *elementi prefabbricati attrezzati o attrezzabili*: sono i componenti in grado di comprendere canalizzazioni e punti di utilizzazione di uno o più impianti che possono essere incorporati nella fase di prefabbricazione ("componente attrezzato": per es. una trancia di soletta comprensiva di serpentine per il riscaldamento) oppure inseribili in opera entro apposite sedi ispezionabili ("componente attrezzabile": per es. un pannello con cavità verticale, dotata di sportelli per consentire la posa e la sostituzione di tubature).

La prefabbricazione può essere classificata in base a 3 criteri (descritti di seguito): geometrico, del peso e del sistema prefabbricato.

4.5.4.1. Il criterio geometrico

Tale criterio prende come riferimento le caratteristiche geometriche degli elementi che possono essere classificati come segue:

- *elementi monodimensionali*: presentano due dimensioni "a" e "b" molto inferiori alla terza "c" (travi e pilastri);
- *elementi bidimensionali*: i rapporti tra i diversi lati vedono due dimensioni "a" e "b" superiori alla terza "c" (solai, solette e setti verticali);



Fig. 4.12: Assemblaggio a secco di un elemento prefabbricato bidimensionale.

- *elementi tridimensionali*: i lati del singolo elemento non giacciono nello stesso piano e hanno la caratteristica di delimitare un volume (possono contenere un'intera stanza o parte di essa o, addirittura, un'intera attività abitativa. Sono prodotti in stabilimento e possono essere posti in opera uno sull'altro oppure montati su strutture prefabbricate a telaio.

4.5.4.2. Il criterio del peso

Il criterio del peso classifica la prefabbricazione in:

- *leggera*: consiste nella produzione di componenti monodimensionali che vengono montati e collegati direttamente in cantiere. Appartiene alla prefabbricazione leggera ciò che non è strutturale e non ha funzione portante;
- *pesante*: consiste nella produzione di componenti bidimensionali e tridimensionali. Appartiene alla prefabbricazione pesante ciò che è strutturale e ha funzione portante.

4.5.4.3. Il criterio del sistema prefabbricato

Definite le caratteristiche generali del pezzo prefabbricato, occorre considerare che nella pratica costruttiva la prefabbricazione può essere d'impiego totale o parziale.

La *prefabbricazione* è *totale* quando l'opera è interamente formata da pezzi prefabbricati. Il montaggio dei componenti prevede due modalità operative: in opera o in stabilimento.

La *prefabbricazione* è *parziale* quando l'opera è soltanto in parte formata da elementi prefabbricati i quali possono risultare pezzi "isolati" incorporati nell'ambito delle prevalenti parti realizzate in opera (per es. architravi e colonne in costruzioni murarie, porte e finestre inserite in muri costruiti in opera, ecc.) oppure costituire insiemi coordinati (per es. chiusure verticali di tamponamento prefabbricate del tipo a pannelli di calcestruzzo o del tipo *curtain-wall* applicate in costruzioni a scheletro portante realizzato in opera, trince di solaio in costruzioni murarie tradizionali, ecc.).

A livello cantieristico si ha il cosiddetto sistema misto (compresenza di prefabbricazione e di lavorazioni in opera) che richiede, specie sul piano tecnico-economico, un coordinamento progettuale ed esecutivo abbastanza complesso per contemperare le esigenze delle due modalità operative.

4.5.5. La prefabbricazione metallica

La prefabbricazione metallica consiste nella preparazione in officina degli elementi quali: profilati metallici per pilastri, travi principali e secondarie.

Il montaggio avviene direttamente in cantiere tramite: bullonature (i fori sono però preparati in officina) e saldature elettriche. Può essere di 2 tipi:

- *totale*: sulle travi vengono disposte delle lamiere grecate che formano il piano di calpestio. Le pareti perimetrali ed interne sono costituite da pannelli con interposto del materiale coibente ed afonico.
- *parziale/mista*: vengono utilizzati travi e pilastri di acciaio prefabbricati, mentre i solai vengono gettati in opera. Le pareti perimetrali sono costituite con elementi laterizi e altri elementi posati in opera, intonacati o rivestiti.

4.5.6. I sistemi costruttivi lignei di tipo prefabbricato

Il recente “Rapporto Case ed Edifici in Legno 2015” realizzato dal Centro Studi Federlegno Arredo Eventi rileva che, in un contesto che dal 2010 a oggi ha visto il crollo degli investimenti complessivi nell’industria delle costruzioni, l’edilizia di legno ha registrato un trend in contro tendenza con una crescita costante. Tale aspetto conferma l’avvenuto cambiamento di mentalità nei confronti di una tipologia costruttiva ecologica, sicura e in grado di garantire significativi vantaggi economici in termini di risparmio energetico. L’uso del legno riduce la massa di circa il 70% rispetto ad un edificio tradizionale, riducendo quindi le forze provocate dall’azione sismica. Inoltre, il legno ha caratteristiche meccaniche di grande duttilità che permettono di ridurre l’effetto dinamico del sisma sulla struttura. Ne risulta una struttura più robusta e meno sensibile in caso di sollecitazioni sismiche. La ricerca ha rilevato che nel corso del 2015 sono state realizzate oltre 3.400 nuove abitazioni di legno, pari al 7% sul totale dei permessi di costruire rilasciati nello stesso anno in Italia (si tratta di un numero rilevante, un’abitazione su 14, infatti, è stata realizzata di legno). A livello regionale la ricerca evidenzia il peso delle aziende del Trentino Alto Adige in termini di fatturato generato (46% del totale) e della Lombardia come numero di aziende attive stabilmente nel settore (51 aziende, pari al 21% del totale). Per quanto riguarda invece la distribuzione territoriale delle abitazioni, la Lombardia è al primo posto con il 20% delle costruzioni realizzate di legno, seguita dal Veneto (18%) e dall’Emilia Romagna (15%).

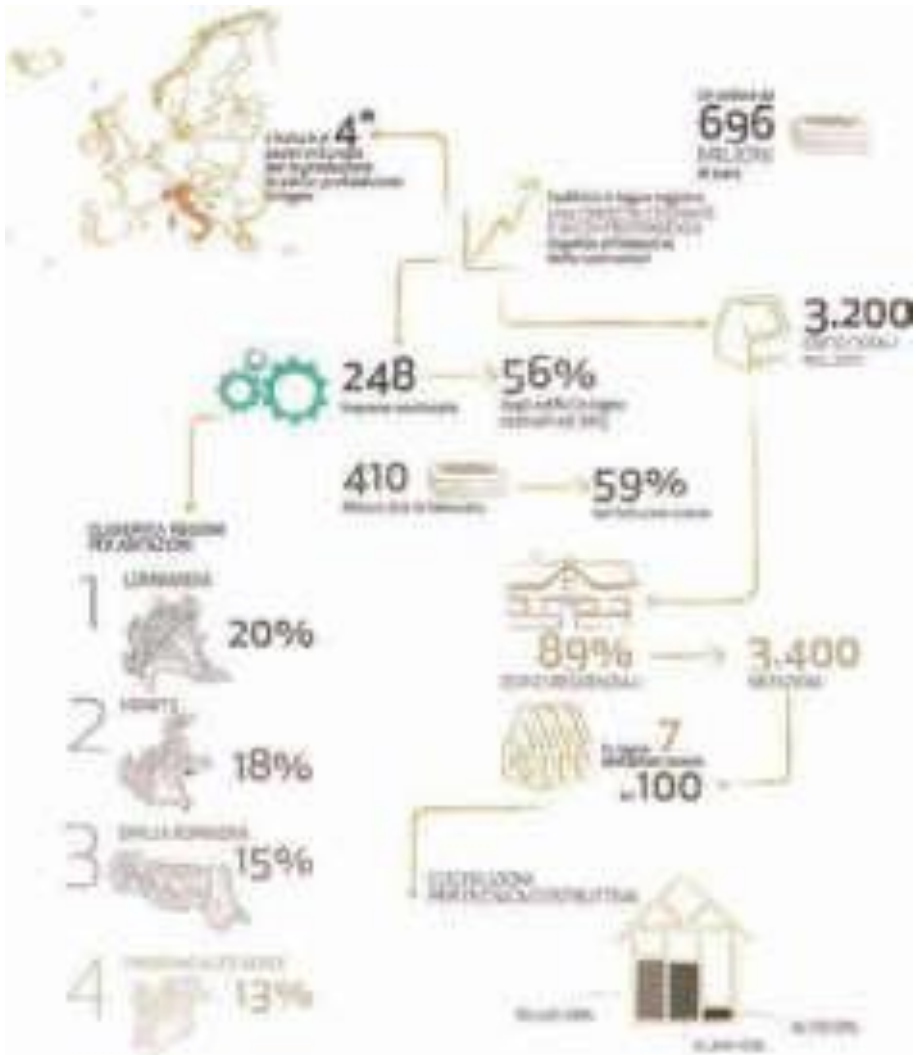


Fig. 4.13: Utilizzo dei sistemi costruttivi prefabbricati di legno in Italia.

Fonte: Centro Studi Federlegno Arredo Eventi S.p.A.

Gli specialisti italiani del CNR-IVALSA (Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree) hanno dimostrato come si comporta un edificio multipiano in caso di azione sismica. Per fare ciò hanno costruito un edificio di sette piani (100 m² in pianta) in X-Lam, rimasto perfettamente integro e agibile al termine delle prove (una serie consecutiva di dieci terremoti distruttivi)

condotte sulla tavola vibrante più potente al mondo nei laboratori del NIED, a Kobe, in Giappone, nell'ottobre 2007.

Il comfort abitativo di una casa dipende da una corretta scelta dei materiali. Una casa di legno garantisce un buon comfort interno sia in termini termici che acustici, aumentando la sensazione di benessere percepito all'interno dei singoli ambienti. Il legno è un materiale estremamente isolante capace di garantire un risparmio energetico vicino al 40% rispetto ai consumi delle strutture convenzionali. Il legno come materia prima offre, inoltre, la grande possibilità di ridurre considerevolmente le emissioni di CO² e di altri inquinanti causati dalla lavorazione e dalla trasformazione del materiale, poiché richiede un consumo limitato di energia. Diversi studi hanno dimostrato che ogni metro cubo di legno utilizzato in sostituzione di altri materiali da costruzione è in grado di immagazzinare 0,9 tonnellate di CO². Altro aspetto rilevante che gioca a favore della diffusione delle costruzioni di legno è la certezza del costo di costruzione. Ad esempio, la rapidità di esecuzione (4-5 mesi per una villetta di 200 m²) consente di rispettare i costi preventivati senza ulteriori aggravii per la revisione dei prezzi. Una casa di legno, infatti, viene costruita in 1/3 del tempo di una casa di latero-cemento.

L'evoluzione delle tecniche costruttive è un altro fattore incentivante che contribuisce all'incremento del numero degli edifici di legno. La tecnica che prevede l'utilizzo di pannelli di tavole incrociate (X-Lam) ha permesso, infatti, la realizzazione di edifici pluripiano sempre più alti (fino a 34 piani)¹¹¹.

I vantaggi primari delle costruzioni di legno rispetto alle strutture tradizionali possono essere così sintetizzati:

- *rapidità di costruzione*: buona parte della costruzione è realizzata a secco;
- *sicurezza sul lavoro*;
- *sostenibilità*: il legno è un materiale rinnovabile e riciclabile, consuma poca energia in fase di produzione, non fa uso di acqua nei suoi processi di trasformazione, stocca CO² e produce ossigeno;
- *idoneità statica e antisismica*: il legno è un materiale estremamente elastico e leggero;
- *risparmio energetico*: il legno è un ottimo isolante sia termico che acustico;

¹¹¹ Frattari, A. (a cura di) (2015), *Soluzioni costruttive per edifici in legno*, Rockwool Firesafe Insulation, Milano (MI), pag. 12.

- *tenuta all'aria e al vento*: realizzata inserendo uno strato a tenuta nel lato interno della stratigrafia della parete;
- *buona resistenza e "reazione al fuoco"*¹¹²;
- *costi certi e tempi rapidi di completamento*;
- *pianificazione del progetto e del cantiere*: le strutture sono prefabbricate in stabilimento e sono quindi poco esposte agli agenti atmosferici.

Per contro, il limite maggiore delle costruzioni di legno è rappresentato dalla loro scarsa versatilità nel tempo: un edificio di legno sopporta in maniera meno flessibile eventuali modifiche sia in corso d'opera che durante la sua vita utile. Ciò costituisce una limitazione in rapporto all'impostazione diffusa del nostro mercato della casa (intesa come bene durevole). I sistemi utilizzati oggi in Italia sono: il sistema a pannelli massicci di tavole incrociate (X-Lam), il sistema a pannelli intelaiati (sistema a telaio), il Blockbau e il sistema a travi e pilastri. Dalle ultime statistiche è emerso che i sistemi più usati sono quelli a pannelli X-Lam e a telaio (45% della quota di mercato ciascuno), mentre il Blockbau ha un utilizzo che non supera il 10%¹¹³.

4.5.6.1. Il Ballon Frame

Il Ballon Frame è un sistema costruttivo standardizzato e prefabbricato volto alla creazione di unità abitative di legno che si è diffuso specialmente negli Stati Uniti. Le tecnologie costruttive lignee a pareti portanti intelaiate sono giunte fino ai nostri giorni come sviluppo ed affermazione dei primi sistemi di prefabbricazione utilizzati fin dall'Ottocento dai coloni e pionieri europei nei paesi dell'America del Nord, per consentire la realizzazione di edifici a basso costo e rapida costruzione. Grazie alla facilità di reperimento in loco del legname, all'evolversi delle tecniche di segagione e all'industrializzazione dei processi di produzione dei chiodi, nel 1800 nacque il sistema costruttivo ad ossatura lignea noto come Ballon Frame (struttura a pallone)¹¹⁴.

¹¹² La "reazione al fuoco" è definita come il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco a cui è esposto. È una proprietà del materiale che dipende dalla sua stessa natura e dal suo trattamento superficiale. I materiali sono classificati, in accordo con la norma UNI EN 13501-1, nelle Euroclassi di reazione al fuoco A1, A2, B, C, D, E e F in maniera crescente all'aumentare della loro partecipazione alla combustione.

¹¹³ Gardino, P. (2010), *Il mercato italiano delle case di legno nel 2010. Analisi del mercato. Previsioni fino al 2015*, Promo Legno.

¹¹⁴ Il nome "Ballon Frame" fu dato in senso dispregiativo dai vecchi carpentieri abituati a strutture molto pesanti.

Questa tecnologia permetteva ad un solo uomo munito di sega e martello di erigere la struttura di una casa a due livelli, eliminando gli elementi strutturali troppo pesanti e le lavorazioni troppo complesse, avvalendosi di elementi sottili lunghi per tutta l'altezza dell'edificio, posti ad interasse di 45 centimetri secondo un preciso schema di montaggio di semplice approccio ed esecuzione.

I montanti, aventi l'altezza di due piani di un edificio (6 metri), sono collocati ad un interasse di soli 45 centimetri. I vari elementi prefabbricati che compongono la struttura sono connessi tra loro mediante chiodatura. È un sistema costituito da elementi lineari a sezione rettangolare (circa 5x20 centimetri) molto vicini l'uno all'altro.

La stabilità è garantita da assi di legno o pannelli inchiodati trasversalmente.

La semplicità del sistema, in cui eventuali elementi aggiuntivi sono inchiodati alla struttura principale, permette di costruire rapidamente e non richiede particolare abilità manuale.

Il Ballon Frame consente di avere anche una grande libertà di organizzazione dello spazio interno e le aperture (porte e

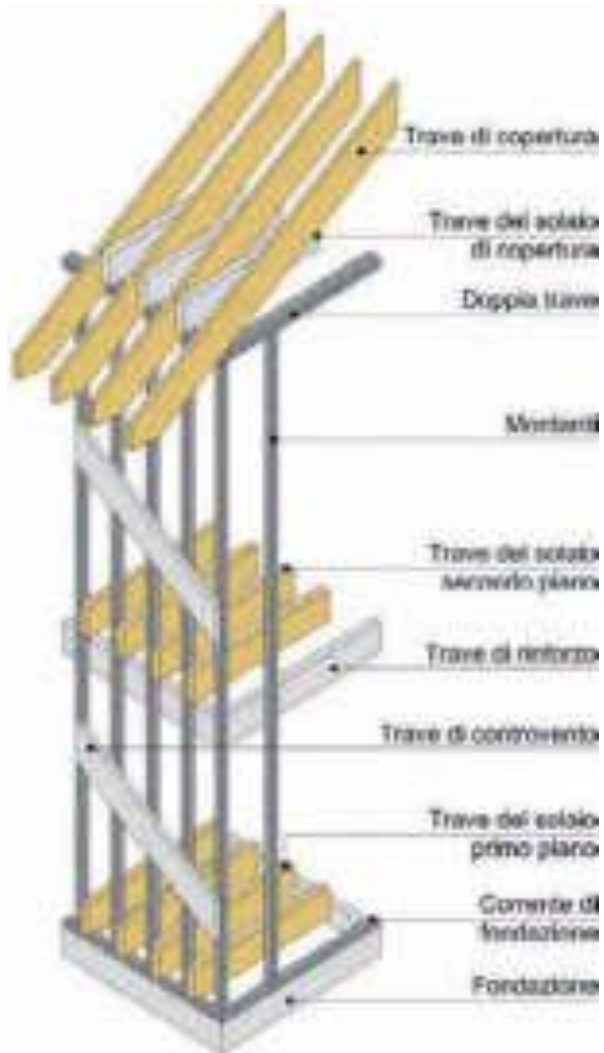


Fig. 4.14: Schematizzazione del sistema Ballon Frame.

finestre) possono essere posizionate con una certa libertà. Si tratta di una costruzione molto solida ma non economica perché sovradimensionata.

4.5.6.2. Il Platform Frame

Il Platform Frame è un sistema costruttivo a telaio a elementi normalizzati, standardizzato e prefabbricato volto alla creazione di unità abitative di legno. Il sistema, nato in Nord Europa, è molto diffuso anche nel Nord America ed è l'evoluzione del più noto sistema Ballon Frame.

Nel sistema costruttivo Platform Frame ogni piano dell'edificio funge da piattaforma per i piani superiori.

Le fondazioni sono generalmente realizzate con una platea di cemento armato o con dei setti. Il collegamento tra le pareti portanti di legno e le fondazioni di cemento armato viene assicurato mediante idonee piastre metalliche ancorate con barre filettate di acciaio o tasselli meccanici.

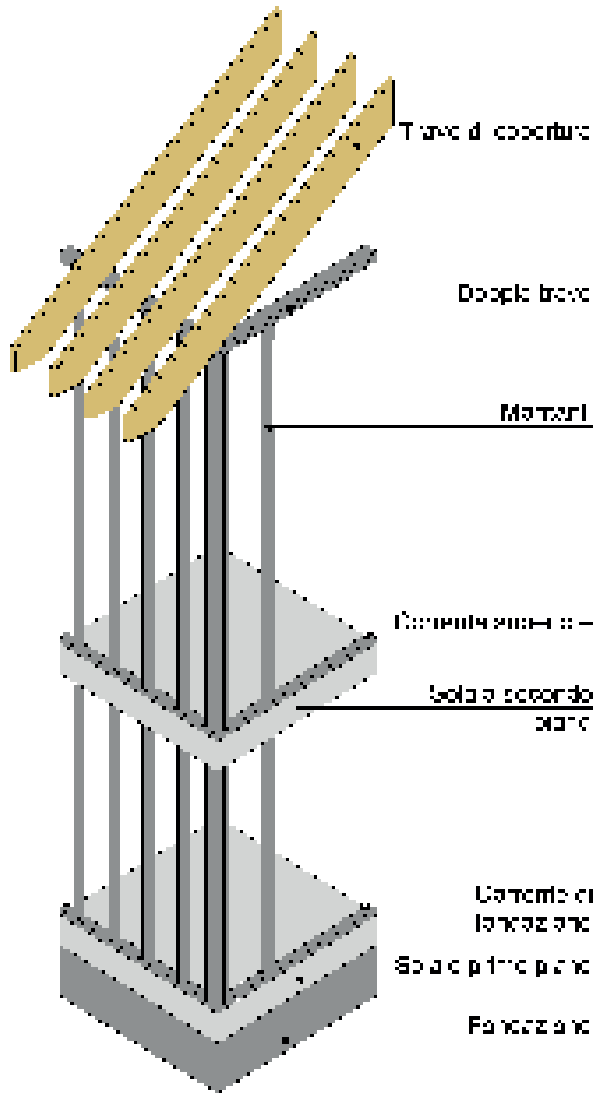


Fig. 4.15: Schematizzazione del sistema Platform Frame.

Ogni parete o solaio è formato da montanti verticali (alti al massimo 3 metri) posti ad interasse costante. Sui lati esterni delle pareti viene posizionato il pannello di rivestimento strutturale che copre completamente il telaio, ancorato attraverso l'utilizzo di chiodi ad aderenza migliorata ed angolari metallici.

I solai di interpiano sono realizzati con travi di legno lamellare poste a interasse variabile a seconda della luce; in appoggio alle travi viene posto un perlinato di opportuno spessore e, nella parte superiore al perlinato, vengono realizzati i massetti di calcestruzzo armato, gli impianti e, successivamente, qualsiasi tipo di pavimento finale (parquet, ceramica, pavimenti galleggianti, ecc.).

Le pareti esterne possono essere rivestite esternamente con: cappotto termico e relativo intonaco, mattoni faccia vista, pietre, doghe di legno a vista, ecc.; mentre internamente vengono completate con un pannello di cemento-legno per ricavare uno spazio tecnico necessario al passaggio degli impianti. In un secondo tempo viene installato il pannello di finitura interna di cartongesso o gessofibra.

Tale sistema consente di avere ottime prestazioni in termini di¹¹⁵:

- *resistenza al fuoco*: generalmente la struttura portante delle pareti può raggiungere resistenza al fuoco R60 (come previsto per gli edifici ad uso scolastico);
- *antisismiche*: la statica dell'edificio è scaricata su tutto lo scheletro di legno che assorbe in modo uniforme le sollecitazioni;
- *efficienza energetica*: l'isolante viene interposto tra i traversi e i montanti della struttura per cui necessita di un cappotto di minor spessore rispetto ad altri sistemi costruttivi in quanto già coibentato nella struttura portante;
- *comfort acustico*.

4.5.6.3. Il Blockbau

Il Blockbau è una tecnica costruttiva lignea conosciuta già dal Neolitico, oggi molto diffusa in Europa Centro-Settentrionale e in Nord America. Il sistema è conosciuto anche con il nome di *Cabin system* o *Log House* ed è usato soprattutto per la realizzazione di edifici di 1-2 piani.

Con il Blockbau si realizzano edifici a setti portanti sovrapponendo orizzontalmente gli elementi lineari a giacitura orizzontale (travi).

¹¹⁵ Legnoquadro (2018), *Solide costruzioni in abete bianco*, Legnolandia, Udine (UD).



Fig. 4.16: Cantiere per la realizzazione di un edificio con il sistema Blockbau.

I setti sono realizzati con elementi di legno massiccio o lamellare con analogia disposizione del sistema tradizionale, ma con differente modalità realizzativa (totalmente meccanizzata e automatizzata).

Le travi, di tipo squadrato, vengono intagliate negli angoli e unite l'una con l'altra con incastri "maschio-femmina" (fig. 4.15). Le travi assolvono sia funzione portante che di irrigidimento della costruzione. Il diametro dei singoli tronchi varia dai 150 ai 250 millimetri.

Gli elementi squadrati sono in genere "compositi", ossia costituiti da due o più lamelle incollate (bilama o trilama) in funzione dello spessore. La larghezza

dei singoli elementi di parete è variabile (compresa tra gli 80 e i 240 millimetri) e la loro lunghezza commerciale massima è di 13 metri.

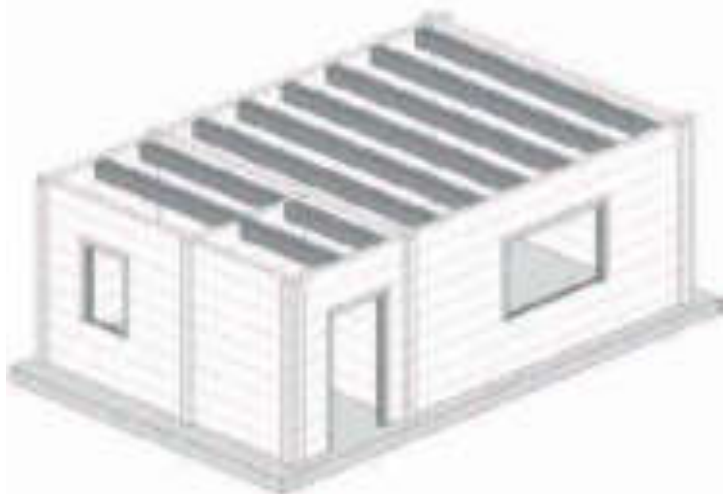


Fig. 4.17: Il sistema costruttivo Blockbau.

I solai possono essere realizzati con panconati (ovvero dei tronchi affiancati l'uno all'altro sui quali viene realizzato un tavolato continuo), disposti con un interasse di 40-50 centimetri su cui viene poggiata prima l'orditura secondaria e poi il tavolato.

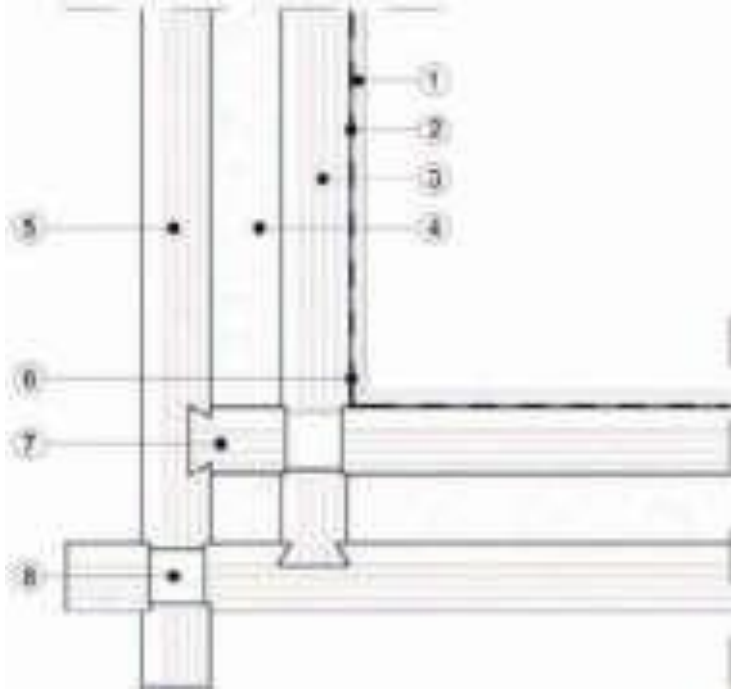


Fig. 4.18:
Dettaglio
tecnologico 1.

Dettaglio tecnologico 1	
1	Rivestimento interno perlinato - sp. 2 cm
2	Telo di tenuta all'aria con funzione di controllo al vapore - sp. 2 mm
3	Setto Blockbau - sp. 8 cm
4	Pannello Rockwool Acoustic 225 Plus - sp. 8 cm
5	Setto Blockbau - sp. 8 cm
6	Nastratura per tenuta all'aria
7	Giunzione della parete interna "a coda di rondine"
8	Giunzione degli elementi "standard"

Tab. 4.1: Sezione orizzontale di un collegamento ad angolo di una parete esterna realizzata col sistema Blockbau.

La connessione tra due pareti ortogonali deve garantire un'ideale continuità strutturale. I nodi più usati sono quello a croce e quello a coda di rondine. Le due soluzioni presentano valori di resistenza diversi dovuti alle differenti aree d'intaglio. Nel caso in cui la distanza tra le pareti sia

maggiore di 4 metri è necessario introdurre dei pilastri connessi all'interno delle pareti con doppio intaglio a coda di rondine.

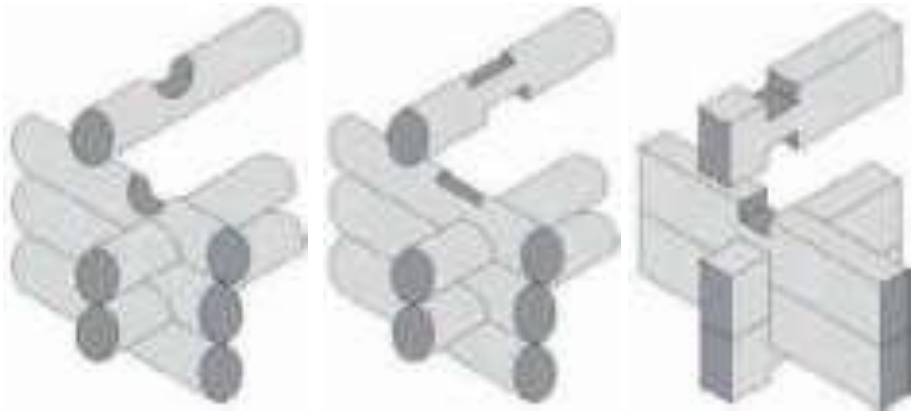


Fig. 4.19: Soluzioni d'angolo.

La connessione al terreno avviene mediante un solaio aerato o con elementi puntuali, avendo cura di isolare gli elementi a contatto dall'umidità. L'ancoraggio avviene mediante tirafondi annegati nel calcestruzzo e vincolati con dadi e rondelle.

Nelle fasi di progettazione e realizzazione bisogna tenere conto delle caratteristiche del legno che provoca dei movimenti di assestamento in fase di essiccazione che devono essere prevenuti con adeguati accorgimenti costruttivi.

Questo sistema consente la realizzazione di costruzioni massicce e la quantità di legno necessario è elevata. Nonostante ciò attualmente desta particolare interesse da parte degli ambientalisti perché limita l'uso di colle e chiodi e, nelle nuove versioni, risolve i problemi di isolamento termico e di tenuta all'aria.

Nel sistema costruttivo Blockbau l'involucro, se costituito solamente dai setti portanti, non è in grado di garantire prestazioni adeguate per assicurare buone condizioni di comfort ambientale. Per tale motivo è necessario aggiungere degli strati di materiale isolante. La soluzione ottimale consiste nel disporre l'isolante sulla faccia esterna del setto portante (isolamento a cappotto) in modo che quest'ultimo si trovi sul lato caldo della parete, garantendo così un miglior comportamento termigrometrico dell'involucro relativamente alla dispersione termica e alla condensazione interstiziale. Così facendo si perderebbe però il carattere distintivo del sistema, in quanto non si vedrebbe più dall'esterno la trama determinata dagli elementi orizzontali.

La soluzione più ricorrente consiste quindi nel porre l'isolante sul lato interno delle pareti e rivestirlo con pannellature di legno per evidenziare la tecnica con la quale l'edificio è realizzato.

Parete semplice		Parete composta (in aggiunta allo spessore della parete Blockbau)			
Spessore parete Blockbau [cm]	Trasmittanza [W/m ² K]	Isolamento lana di roccia [cm]	Rivestimento di perline [cm]	Spessore totale [cm]	Trasmittanza [W/m ² K]
8	1,27	8	2,8	19,5	0,30
12	0,91	10	2,0	24,7	0,24
16	0,71	12	2,8	31,5	0,19

Tab. 4.2: Valori di trasmittanza di una parete Blockbau semplice e una con coibentazione interna (lana di roccia) e rivestimento di perline.

Fonte: Frattari, A. (a cura di) (2015)¹¹⁶.

4.5.6.4. Il sistema a travi e pilastri

È il sistema costruttivo tradizionale di tipo prefabbricato delle case di legno (molto diffuso in Nord America, Canada e Scandinavia), riletto in chiave moderna grazie all'utilizzo delle più moderne tecnologie.

Tale sistema utilizza elementi costruttivi di legno massello, bilama, trilama o lamellare che costituiscono l'ossatura portante dell'edificio. Quest'ultima è costituita da montanti lignei verticali (circa 60x160 millimetri) ed elementi orizzontali posti a breve distanza di interesse, dando luogo ad una struttura scatolare, chiamata "a telaio".

I montanti assolvono il compito di portata; sino a 4 piani è consigliabile interrompere il pilastro, mentre per maggiori altezze si mantiene la continuità del pilastro. In genere le travi sono a sezione piena con la base fra gli 8 e i 20 centimetri e hanno altezze variabili in funzione delle luci che devono ricoprire.

Le intercapedini delle pareti sono riempite di isolamento mentre gli esterni e gli interni del telaio sono rivestiti a piacimento. La tamponatura delle maglie dello scheletro è realizzata con differenti sistemi che possono prevedere la realizzazione in opera o l'impiego di pannelli pre-assemblati in officina.

¹¹⁶ Frattari, A. (a cura di) (2015), *Op. cit.*, pag. 132.

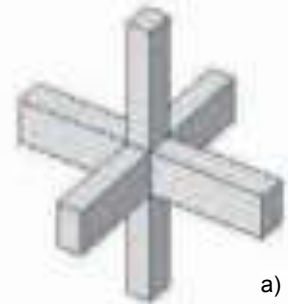
La connessione trave-pilastro può essere:

- pilastro e trave passante (c, d);
- pilastro passante, trave interrotta (a);
- pilastro interrotto, trave passante (b).

Negli edifici bassi fino a 4 metri è comune posizionare la trave al di sopra del pilastro per sfruttare la sua maggior capacità portante. Negli edifici di altezze maggiori è conveniente mantenere la continuità del pilastro verticale sul quale andranno a connettersi le travi. Tali connessioni non possono essere prese in considerazione dal punto di vista statico e, quindi, le strutture devono essere opportunamente controventate sia orizzontalmente che verticalmente.

Le connessioni trave-trave e trave-pilastro sono realizzate con elementi metallici che possono essere di tipo a “scarpa” o a “piastra a scomparsa”. La solidarizzazione avviene tramite chiodi, viti per legno o perni metallici. L’irrigidimento del telaio avviene su ambo i lati della struttura mediante tavole inchiodate (pannelli di legno) dello spessore di circa 20 millimetri.

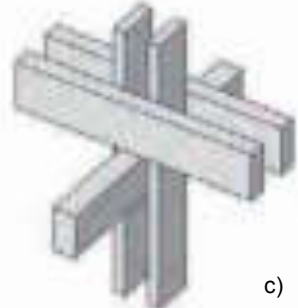
Per il collegamento con la fondazione è opportuno isolare il pilastro di circa 15 centimetri dal piano fondale. Il collegamento di un pilastro con la fondazione di calcestruzzo armato si realizza mediante “piastre porta pilastri” o “piastre metalliche” fissate alla base del pilastro ligneo tramite viti, chiodi o bulloni. La correlazione con la fondazione avviene tramite di una “trave radice”.



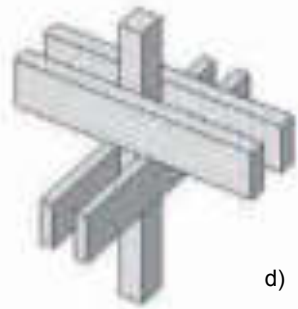
a)



b)



c)



d)

Fig. 4.20: Tipologie di connessione trave-pilastro.
Fonte: Federlegno.

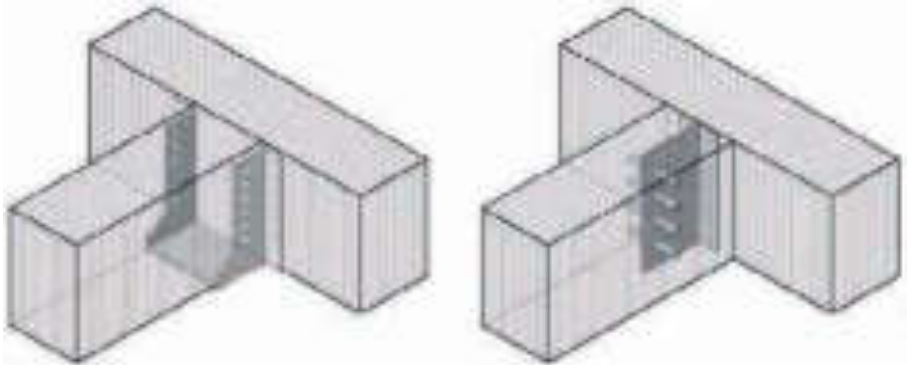


Fig. 4.21: Tipologie di connessione trave-trave: a sinistra una “scarpa” e a destra una piastra a scomparsa.

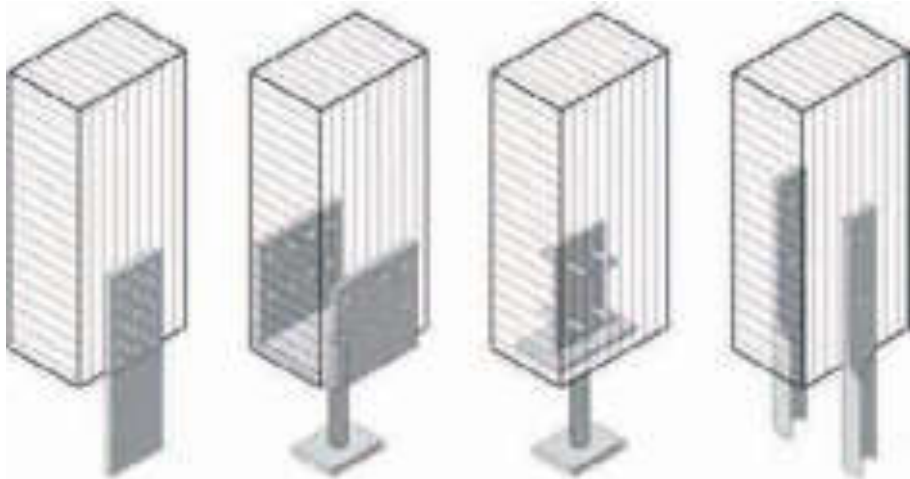


Fig. 4.22: Esempi di collegamento pilastro-fondazione realizzato con piastre metalliche e travi radice.

È fondamentale evitare il contatto tra la base del pilastro e il calcestruzzo al fine di migliorare la durabilità della struttura. Il tamponamento può essere:

- “*in luce*”: oltre a permettere la continuità delle superfici interne ed esterne, svolge il compito di controventamento, facilitando la realizzazione di un’eventuale parete ventilata o di un cappotto esterno;
- “*in battuta*”: i pannelli, di tipo pre-assemblato, vengono posti dall’esterno e hanno una maggior facilità di montaggio, ma

implicano la necessità di predisporre opere provvisorie intorno all'edificio.

Per quanto riguarda l'isolamento termico/acustico e la tenuta all'aria e al vento, le soluzioni costruttive del sistema a travi e pilastri di legno sono analoghe a quelle del sistema a pannelli intelaiati. In particolare, nel caso che i pannelli di chiusura siano "in battuta", l'involucro risulterà realizzato da una sequenza di pannelli intelaiati. Nel caso, invece, che i pannelli siano "in luce", l'unica differenza è rappresentata dalla presenza di pilastri tra un pannello e l'altro.

Tale sistema, al contrario di quello a pannelli intelaiati, permette una grande flessibilità d'uso dell'edificio e, quindi, la massima libertà nel posizionamento delle pareti interne (in genere realizzate di cartongesso o con pannelli di legno).

4.5.6.5. Il sistema a pannelli intelaiati

Il sistema a pannelli intelaiati è una diretta derivazione del sistema Platform Frame. I pannelli sono realizzati con un telaio leggero fatto di segati che ingloba l'isolante ed è finito sulle due facce con lastre di compensato (OSB – *Oriented Standard Board*, MDF – *Medium Density Fibreboard*, ecc.).

Rispetto al Platform Frame cambiano le modalità di assemblaggio degli elementi costruttivi di base. Mentre per quest'ultimo il montaggio era fatto in opera, negli ultimi anni, con l'evolversi dei mezzi meccanici per la movimentazione dei materiali, si è assistito ad un progressivo trasferimento dei cicli del cantiere tradizionale dal luogo dell'edificazione allo stabilimento più o meno industrializzato.

Per quanto riguarda le modalità costruttive, più strati di pannelli (segati) vengono incollati, con direzione alternante della fibra, in modo da formare un unico pannello multistrato a misura di intera parete, completo di aperture per finestre e porte. I segati vengono poi solidarizzati (tramite viti, chiodi, graffe o cambrette) su un telaio leggero fatto di montanti (segati con spessore di 5-8 centimetri e profondità di 10-18 centimetri), posti ad un interasse di circa 45-65 centimetri.

Una volta posta la prima lastra di tamponamento, si inserisce il materiale isolante (in genere pannelli rigidi di fibra minerale o naturale) e si pone la seconda lastra di chiusura.

Dei pannelli di irrigidimento vengono collegati all'intelaiatura tramite chiodi aventi diametro di 3-5 millimetri e posti ad interasse di 10-20 centimetri. Le tavole inclinate di rafforzamento strutturale sono state sostituite da pannelli truciolari; oggi quelli più usati sono i pannelli a truciali allungati, denominati "pannelli OSB". I pannelli possono essere

disposti solo su un lato o su entrambi i lati. Detti pannelli sono costituiti da scaglie di legno incollate con resine sintetiche e pressate in vari starti. Negli strati esterni le scaglie sono orientate in senso longitudinale rispetto alla lunghezza del pannello; negli strati intermedi, invece, sono orientati trasversalmente. Grazie alla geometria delle scaglie ed al loro orientamento all'interno del pannello, gli OSB presentano un'elevata resistenza meccanica che li rende particolarmente adatti per funzioni di irrigidimento e controventamento sia dei solai che delle coperture e delle pareti. Anche in corrispondenza delle aperture è necessario realizzare un rinforzo del telaio della parete, con l'inserimento dell'architrave e di ulteriori montanti.

A seconda delle finalità e del grado di prefabbricazione che si vuole raggiungere, il pannello intelaiato può essere attrezzato con gli impianti e parzialmente o totalmente finito con serramenti e finiture esterne ed interne. Il lato esterno può avere una finitura a cappotto intonacato o a parete ventilata. Spesso questi pannelli, proprio perché sono al loro interno intelaiati, sono attrezzati per l'inserimento degli impianti.

Anche per i solai si usano pannelli intelaiati.

I pannelli vengono poi stoccati, portati in cantiere e posti in opera. Il collegamento degli elementi avviene con piastre metalliche, viti e/o bulloni.

Questo sistema di costruzione permette un alto grado di prefabbricazione e tempi molto brevi di montaggio¹¹⁷.

Negli edifici a pannelli intelaiati si verificano condizioni che implicano problemi connessi all'ermeticità: dispersioni termiche dell'edificio, formazione di condensa localizzata nella costruzione, spifferi, ponti acustici e degrado dei materiali isolanti. A tal fine è opportuno garantire due strati di tenuta, uno interno che svolga la funzione di freno al vapore ed uno esterno che garantisca l'impermeabilità al vento.

4.5.6.6. La tecnologia X-Lam

Il pannello X-Lam o CLT (*Cross Laminated Timber*) (dove la "X" indica la disposizione ortogonale degli elementi lignei che compongono il pannello) è un compensato strutturale di tavole di legno massiccio disposte e incollate a strati incrociati (in modo che l'andamento delle fibre delle tavole di ognuno di essi sia ruotato di 90° rispetto allo strato sottostante) con il quale è possibile realizzare pareti (interne ed esterne), solai e coperture di un edificio.

¹¹⁷ Frattari, A. (a cura di) (2015), *Op. cit.*, pag. 13.

Il pannello X-Lam è formato da lamelle analoghe a quelle utilizzate per la fabbricazione del legno lamellare che, invece di essere incollate una sopra l'altra a formare elementi portanti lineari (travi, archi, portali), sono disposte a strati incrociati come nel compensato.

Nata in area tedesca negli anni 90 e rapidamente diffusasi prima in Europa ed oggi anche fuori dai confini europei, questa tecnica costruttiva si basa sull'utilizzo di pannelli prefabbricati.

Nella produzione del pannello X-Lam, le lamelle sono affiancate e disposte a contatto tra loro, secondo il lato lungo e con fughe minime, formando uno strato di spessore compreso tra i 15 e i 50 millimetri. Attraverso l'incollaggio dei vari strati, uno sopra l'altro e ortogonalmente, e una fase successiva di pressione meccanica, si ottiene un pannello monolitico che viene sottoposto a una serie di lavorazioni per la realizzazione delle aperture (porte, finestre, vani per il passaggio delle scale, lucernai, ecc.). Nelle prime realizzazioni l'incollaggio era realizzato con colle rosse alla resorcina. Attualmente, per diminuire la presenza di agenti inquinanti nell'aria, si utilizzano colle bianche poliuretaniche e prive di formaldeide.

I pannelli di X-Lam sono realizzati da 3 a 9 strati (generalmente di legno di conifera), preformati e sagomati, pronti per essere velocemente assemblati in cantiere. Il numero di strati, mai inferiore a tre, dipende dalle esigenze strutturali differenti a seconda se si tratti di un setto verticale o di un solaio.

Le dimensioni commerciali dei pannelli X-Lam più diffusi sono: 3 metri di altezza, fino a 16 metri di lunghezza e spessore massimo di 50 centimetri. Il risultato finale del processo industriale di composizione e assemblaggio è una superficie strutturale di grandi dimensioni assolutamente innovativa e performante.

Dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche, il pannello X-Lam è un pannello massiccio, leggero, estremamente rigido e resistente che abbina le qualità di due materiali: la grande capacità portante del legno con la bidimensionalità e la stabilità del compensato. Inoltre tali pannelli appartengono alla classe di resistenza C24, la medesima del legno lamellare. Grazie alla disposizione incrociata degli strati di lamelle, il pannello X-Lam può essere considerato stabile nelle due direzioni, mentre i sistemi di collegamento meccanici (chiodi, viti, staffe, ecc. di alluminio) conferiscono alla struttura assemblata un comportamento di tipo scatolare, resistente alle azioni verticali e orizzontali (vento e sisma). Come dimostrato da ricerche internazionali¹¹⁸, se sollecitata da un

¹¹⁸ Il Progetto Sofie (Sistema Costruttivo Fiemme) è un progetto di ricerca sull'edilizia sostenibile condotto da IVALSA con il sostegno della Provincia autonoma di Trento che ha

terremoto, una struttura concepita con tecnologia X-Lam presenta delle ottime proprietà. Per la sua conformazione e costituzione il pannello X-Lam è un elemento portante di superficie che può essere utilizzato come parte resistente sia nelle pareti interne/esterne che nelle chiusure orizzontali (solaio intermedio e di copertura). Il suo uso è poco diffuso per la realizzazione di solai di base data la nota incompatibilità del legno con gli ambienti che potrebbero determinare la presenza di acqua sulla superficie degli elementi costruttivi.



Fig. 4.23: Il sistema costruttivo X-Lam può essere utilizzato per realizzare strutture portanti verticali e orizzontali. Alessandro Volta, edificio ibrido realizzato in X-Lam e acciaio.

Fonte: X-Lam Dolomiti S.r.l.

Lo spessore degli elementi di parete è determinato dai carichi verticali agenti ma anche dalle esigenze di rigidità dovute all'azione dei carichi orizzontali, o anche da esigenze legate all'isolamento fonico ed alla necessità di offrire una sufficiente rigidità e resistenza dell'elemento strutturale.

condotto un test sismico su un edificio di legno di 7 piani realizzato nei laboratori di Miki (Giappone) il 23 ottobre 2007 sulla tavola vibrante più grande al mondo.



Fig. 4.24: Allodi (ex Officine Reggiani).
Fonte: X-Lam Dolomiti S.r.l.

La presenza delle aperture comporta una deviazione del flusso delle forze verso il basso. Spesso non è necessario realizzare un architrave poiché la sezione verticale della parete al di sopra dell'apertura è costituita da un numero di strati di tavole orizzontali che possono assolvere a funzione di architrave. È comunque possibile rinforzare l'X-Lam con l'aggiunta di elementi lineari tramite incollatura strutturale.

I pannelli arrivano in cantiere già pretagliati, con i vani delle porte e delle finestre già pronti. Una volta giunto in cantiere il materiale deve essere immagazzinato e conservato in ambienti coperti, non esposto a precipitazioni atmosferiche e protetto dai raggi solari (UV). La temperatura ambientale deve essere compresa tra -10° e $+40^{\circ}\text{C}$, con umidità ambientale del 60-70%. La movimentazione standard prevede l'utilizzo di cinghie monouso per applicare le quali vengono predisposti dei fori aventi un diametro di 40 millimetri sul pannello. Successivamente la chiusura dei fori può avvenire tramite appositi tappi.

La costruzione di un edificio in X-Lam inizia con la realizzazione di un basamento fatto da una platea o comunque da una fondazione di tipo continuo che permetta di appoggiare i pannelli in tutta la loro lunghezza. La correlazione tra i pannelli e la fondazione è ottenuta attraverso il posizionamento di segati di legno (generalmente di larice), fissati alla struttura sottostante tramite barre filettate in modo da costituire una "trave di banchina". Tra il calcestruzzo e il legno viene posta una guaina bituminosa che ha il compito di isolare il legno dal contatto con l'acqua.

Il collegamento delle pareti alla fondazione deve impedire che, per effetto delle azioni orizzontali (vento e sisma), si possa verificare:

- il *ribaltamento della parete*: viene contrastato con l'installazione di piastre angolari allungate (*hold-down*) collegate alle pareti con chiodi o viti (con diametro variabile dai 3 ai 6 millimetri) e, alle fondazioni di calcestruzzo, con barre filettate di acciaio (con diametro variabile dai 12 ai 18 millimetri) inserite in fori sigillati con malta cementizia o epossidica;
- lo *scorrimento della parete*: viene contrastato attraverso l'installazione di una serie di piastre di acciaio tra la fondazione e la parete.



Fig. 4.25: Realizzazione della struttura portante verticale sopra una fondazione continua di calcestruzzo ad Allodi (ex Officine Reggiani).

Fonte: X-Lam Dolomiti S.r.l.

I collegamenti tra i vari pannelli (pannello verticale-solaio; pannello verticale-pannello verticale; pannello orizzontale-pannello orizzontale) avvengono attraverso opportune piastre angolari di acciaio, piastre passanti, viti e chiodi. I giunti tra i pannelli possono essere di tre tipi:

- *giunzione testa-testa*;

- *giunzione con tavola*: viene realizzata la fresatura nei pannelli per l'alloggiamento della tavola che corre parallelamente alla direzione della fibra degli strati esterni del pannello;
- *giunzione mezzo legno*.



Fig. 4.26: Connessione tra pannelli in X-Lam di una casa privata ad Arco (Trentino).
Fonte: X-Lam Dolomiti S.r.l.

Per garantire l'ermeticità all'aria tra le giunzioni devono essere utilizzate delle guaine comprimibili, schiume sigillanti, nastri adesivi o guarnizioni di gomma. Per evitare, invece, la trasmissione del suono tra i vari ambienti e tra l'interno e l'esterno dell'edificio, devono essere utilizzate delle bande resilienti.

Diverse sono le modalità di finitura interna. Il pannello, nel caso sia prefinito, può essere lasciato a vista, altrimenti si può ricorrere a pannelli di cartongesso. Questi ultimi possono essere applicati direttamente sul setto portante o ad esso correlati per mezzo di un'orditura di sostegno fatta con profilati metallici o con listelli di legno. In ambedue i casi è possibile realizzare un'intercapedine per il passaggio degli impianti o per la posa in opera di un isolante termo-acustico.

Per la finitura esterna le soluzioni perseguibili sono generalmente due: la finitura a cappotto esterno o la parete ventilata.

Tra le caratteristiche principali del sistema X-Lam si possono citare: l'ottima resistenza sismica e al fuoco, l'ottimo isolamento acustico e termico¹¹⁹ (dato il basso peso specifico del materiale), la sostenibilità ambientale, la durabilità nel tempo e il buon rapporto costi/benefici.

¹¹⁹ Conducibilità termica media di 0,13 W/mK e trasmittanza termica tra 0,20 e 1,17 W/m²K.



Fig. 4.27: Cantiere del Centro Servizi per Anziani "La Quietè", Fiesso Umbertano (RO).
Fonte: X-Lam Dolomiti S.r.l.



Fig. 4.28: Cantiere di un complesso residenziale a Chioggia (VE).
Fonte: X-Lam Dolomiti S.r.l.

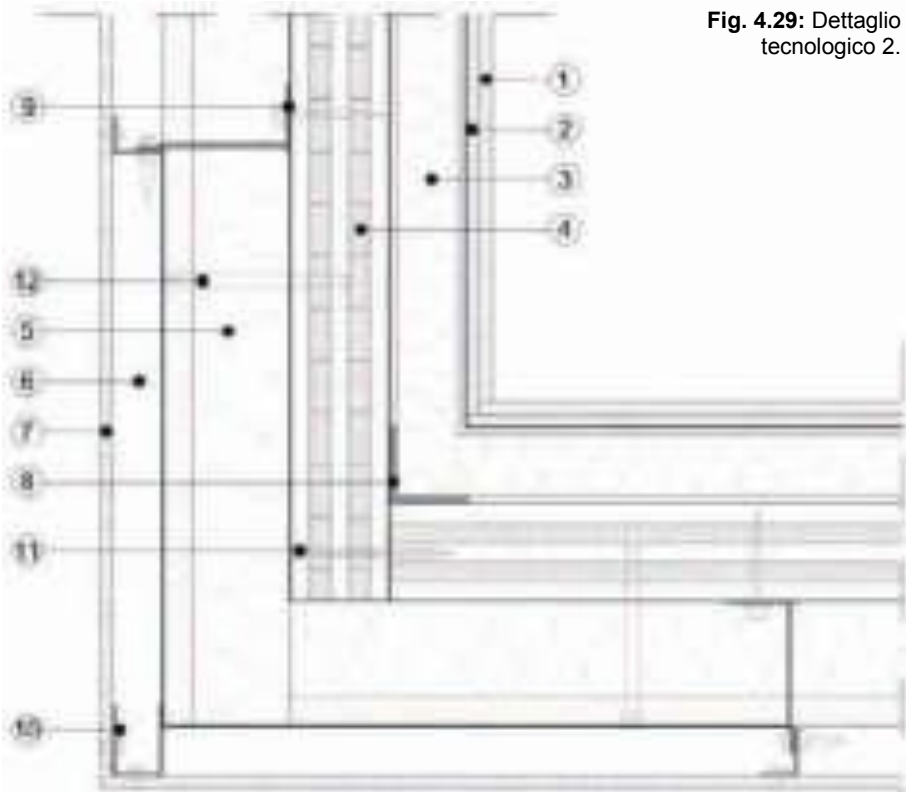


Fig. 4.29: Dettaglio tecnologico 2.

Dettaglio tecnologico 2	
1	Lastra di cartongesso - sp. 1,25 cm
2	Lastra di gessofibra - sp. 1,25 cm
3	Struttura a singola orditura metallica di alluminio (intercapedine 7,5 cm) riempita con isolante termo-acustico in lana di roccia - sp. 6,0 cm
4	Pannello portante in X-Lam - sp. 9,5 cm
5	Pannello isolante Rockwool Ventirock a doppia densità - sp. 12,0 cm
6	Struttura di alluminio di supporto al rivestimento/Intercapedine ventilata - sp. 5,0 cm
7	Rivestimento parete ventilata con lastre composite sottili Rockpanel - sp. 1,0 cm
8	Nastratura per la tenuta all'aria
9	Profilo di alluminio di supporto del rivestimento a parete ventilata
10	Profilo d'angolo di supporto del rivestimento
11	Vite autoforante per legno per la giunzione parete-parete
12	Tassello per l'ancoraggio meccanico del pannello isolante

Tab. 4.3: Sezione orizzontale di un collegamento ad angolo di una parete ventilata realizzata in X-Lam.



Fig. 4.30: Complesso residenziale ultimato con il sistema X-Lam a Chioggia (VE).
Fonte: X-Lam Dolomiti S.r.l.

4.6. Le classi di elementi tecnici di un edificio

Ogni parte dell'edificio svolge un compito preciso, in relazione alla sua funzione e alla sua posizione. L'edificio può essere scomposto in subsistemi (unità tecnologiche) ed elementi costruttivi (elementi tecnici). La scomposizione del sistema tecnologico viene illustrata nella norma UNI 8290-1:1981¹²⁰. Quest'ultima non elenca gli elementi tecnici di un edificio, che sarebbero troppo articolati, ma si limita a elencare le classi di elementi tecnici.

La classificazione adottata, coincidente con l'impostazione della manualistica tecnica, assume come riferimento prevalente il criterio funzionale, ragionando cioè sulla funzione (prestazione) svolta da ciascuna parte rispetto ai requisiti del progetto.

Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
1. Struttura portante	1.1. Struttura di fondazione	1.1.1. Strutture di fondazione dirette 1.1.2. Strutture di fondazione indirette
	1.2. Struttura di elevazione	1.2.1. Strutture di elevazione verticali 1.2.2. Strutture di elevazione orizzontali 1.2.3. Strutture di elevazione inclinate 1.2.4. Strutture di elevazione spaziali
	1.3. Struttura di contenimento	1.3.1. Strutture di contenimento verticali 1.3.2. Strutture di contenimento orizzontali
2. Chiusura	2.1. Chiusura verticale	2.1.1. Pareti perimetrali verticali 2.1.2. Infissi esterni verticali
	2.2. Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1. Solai a terra 2.2.2. Infissi orizzontali
	2.3. Chiusura orizzontale su spazi esterni	2.3.1. Solai su spazi aperti
	2.4. Chiusura superiore	2.4.1. Coperture 2.4.2. Infissi esterni orizzontali
3. Partizione interna	3.1. Partizione interna verticale	3.1.1. Pareti interne verticali 3.1.2. Infissi interni verticali 3.1.3. Elementi di protezione
	3.2. Partizione interna orizzontale	3.2.1. Solai 3.2.2. Soppalchi 3.2.3. Infissi interni orizzontali

¹²⁰ Norma UNI 8290-1:1981, *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.*

	3.3. Partizione interna inclinata	3.3.1. Scale interne 3.3.2. Rampe interne
4. Partizione esterna	4.1. Partizione esterna verticale	4.1.1. Elementi di protezione 4.1.2. Elementi di separazione
	4.2. Partizione esterna orizzontale	4.2.1. Balconi e logge 4.2.2. Passerelle
	4.3. Partizione esterna inclinata	4.3.1. Scale esterne 4.3.2. Rampe interne
5. Impianto di fornitura servizi	5.1. Impianto di climatizzazione	5.1.1. Alimentazione 5.1.2. Gruppi termici 5.1.3. Centrali di trattamento fluidi 5.1.4. Reti di distribuzione e terminali 5.1.5. Canne di esalazione
	5.2. Impianto idrosanitario	5.2.1. Allacciamenti 5.2.2. Reti di distribuzione
	5.3. Impianto di smaltimento liquidi	5.3.1. Reti di scarico acque fecali 5.3.2. Reti di scarico acque meteoriche
	5.4. Impianto di smaltimento aeriformi	5.4.1. Macchine 5.4.2. Reti di canalizzazione
	5.5. Impianto di smaltimento solidi	5.5.1. Canne di caduta 5.5.2. Canne di esalazione
	5.6. Impianto di distribuzione gas	5.6.1. Allacciamenti 5.6.2. Reti di distribuzione e terminali
	5.7. Impianto elettrico	5.7.1. Alimentazione 5.7.2. Allacciamenti 5.7.3. Apparecchiature elettriche 5.7.4. Reti di distribuzione e terminali
	5.8. Impianto di telecomunicazioni	5.8.1. Alimentazione 5.8.2. Macchine 5.8.3. Reti di distribuzione e terminali
	5.9. Impianto fisso di trasporto	5.9.1. Alimentazione 5.9.2. Macchine 5.9.3. Parti mobili
6. Impianto di sicurezza	6.1. Impianto antincendio	6.1.1. Allacciamenti 6.1.2. Rilevatori e trasduttori 6.1.3. Reti di distribuzione e terminali 6.1.4. Allarmi
	6.2. Impianto di messa a terra	6.2.1. Reti di raccolta 6.2.2. Dispensori

	6.3. Impianto parafulmine	6.3.1. Elementi di captazione 6.3.2. Rete 6.3.3. Dispersione
	6.4. Impianto antifurto e antintrusione	6.4.1. Alimentazione 6.4.2. Rilevatori e trasduttori 6.4.3. Rete 6.4.4. Allarmi
7. Attrezzatura interna	7.1. Arredo domestico	7.1.1. Pareti contenitore
	7.2. Blocco servizi	
8. Attrezzatura esterna	8.1. Arredi esterni collettivi	
	8.2. Allestimenti esterni	8.2.1. Recinzioni 8.2.1. Pavimentazione esterna

Tab. 4.4: Scomposizione in unità tecnologiche e classi di elementi tecnici delle classi di unità tecnologiche.

Fonte: Norma UNI 8290-1:1981.

Questo libro utilizza la scomposizione illustrata dalla norma UNI come riferimento per la trattazione delle diverse parti d'opera (trattata nei capitoli successivi).