


Franco Piva

MANUALE DELLE COSTRUZIONI DI LEGNO

Con il supporto tecnico-scientifico di  **ClimAbita**
FOUNDATION

© Copyright Legislazione Tecnica 2019

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di gennaio 2019 da:
STAMPAFLASH srl - via Umbria 148/7 - 06059 Todi (PG)

Legislazione Tecnica S.r.L.
00144 Roma, Via dell'Architettura 16
Servizio Clienti
Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068
servizio.clienti@legislazionetecnica.it
Portale informativo: www.legislazionetecnica.it
Shop: Itshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dall'Autore. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e dimensionamenti delle strutture e dei componenti. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e l'Autore da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INTRODUZIONE

L'edilizia italiana mai come ora si trova davanti ad un bivio: cambiamento o declino. La distruzione delle risorse petrolifere e l'esaurirsi delle materie prime, il progredire del riscaldamento globale, il continuo degradare degli ecosistemi e anche la disuguaglianza sociale sono oggettivi segnali di profonda insostenibilità causati dai nostri comportamenti.

La qualità del nostro futuro dipende da come risponderemo a queste sfide. Saremo capaci di attuare velocemente un impiego responsabile di tutte le risorse a nostra disposizione, rispettando i limiti della crescita e della rigenerazione della biosfera?

La tecnica, i materiali da costruzione ed i sistemi tecnologici ci aiuteranno a diventare più "leggeri" nell'uso di risorse energetiche e fossili?

Probabilmente sì, ma sicuramente tutto ciò non basterà di fronte alle dimensioni del problema che la nostra interpretazione di sviluppo ha generato. La strada che ci guida verso un futuro più sostenibile ha due confini: da un lato l'eco-efficienza e dall'altro l'eco-sufficienza; ciò significa che occorre anche una profonda riflessione sulle vere esigenze, individuali e collettive, che stanno alla base del "vivere bene".

Purtroppo abbiamo perso molto tempo e se non correggeremo la rotta intrapresa, diventerà sempre più difficile "saldare i conti" che ci verranno presentati inevitabilmente dalla Natura.

Ormai più di venticinque anni fa, nel corso del Vertice della Terra a Rio de Janeiro (1992), furono mostrate le inequivocabili conseguenze che il crescente sfruttamento delle risorse del Pianeta avrebbe avuto sull'uomo e sull'ambiente, ossia il velocissimo incremento delle emissioni di gas a effetto serra e l'alterazione degli ecosistemi.

Le ultime statistiche dimostrano che queste minacce hanno raggiunto una dimensione preoccupante; il costante aumento della popolazione mondiale, l'insaziabile fame di risorse e il crescente divario fra ricchi e poveri, impongono di agire rapidamente per tentare di trovare un equilibrio tra ambiente, economia e società.

Che cosa fare allora?

Le priorità delle azioni dovranno concentrarsi sui temi dell'energia e del clima e le risposte che opporremo a queste sfide decideranno il nostro futuro che dovrà integrare qualità ecologica, equità sociale e ragione economica.

Per questi motivi l'edilizia deve diventare il motore del cambiamento perseguendo l'obiettivo del passaggio da edifici a energia quasi zero (*nearly zero energy building*), a edifici a energia zero (*net zero energy building*), per arrivare sino a edifici ad energia

positiva (*positive energy building*), attuando un modello di economia circolare basato sulla minimizzazione del prelievo di risorse naturali e puntando sul recupero, il riuso e riciclo dei materiali.

In tutto ciò un grande spazio sarà riservato alle costruzioni in legno: pochi sanno infatti che un edificio realizzato con struttura e componenti a base lignea consente l'assorbimento della CO₂, anche se i pezzi e le partizioni sono già lavorate ed in opera. Inoltre la costruzione in legno è durevole quando realizzata a regola d'arte; un esempio della grande versatilità d'impiego e di longevità della costruzione con questo materiale è rappresentato dalle tante *Stavkirke*: le chiese in legno strutturale che si trovano in Norvegia e nel Nord Europa e che risalgono addirittura alla fine del XII secolo.

Il legno assorbe CO₂ dall'aria e la restituisce solo con la sua combustione o l'impudimento; inoltre nelle attività di produzione di manufatti in legno per la costruzione si generano scarse emissioni climalteranti, impiegando lavorazioni tecniche non particolarmente complesse. Al confronto, il consumo energetico totale dell'edilizia in muratura è maggiore del 75%, a causa delle temperature di cottura dei mattoni molto alte e prolungate, ottenute soprattutto con la combustione di prodotti fossili.

Per produrre 1 t di cemento è necessaria una quantità di energia di 1.000 kWh, ossia circa 115 kg di petrolio, mentre per 1 t di alluminio servono ben 71.200 kWh, circa 8.400 kg di petrolio. Per la produzione di 1 t di legno o materiali derivati bastano tra i 50 kWh (legno massello) e i 200 kWh (derivati), il che corrisponde a una quantità di petrolio tra i 6 ed i 23 kg.

Il lavoro svolto da Franco Piva nella composizione di questo interessante ed estremamente dettagliato volume sulla tecnica progettuale e costruttiva del legno è quanto di meglio oggi possa consultare chi voglia affrontare il tema della nuova edilizia, in coerenza con i principi della sostenibilità ambientale e dell'avanguardia tecnologica. Il manuale, così ricco di esempi costruttivi e di immagini ma anche di approfondimenti della fisica edile, si pone quale riferimento indiscutibile sull'argomento "*legno*", anche dal punto di vista didattico oltre che professionale, onorando con tutto ciò la Fondazione ClimAbita che ne ha patrocinato e promosso la pubblicazione.

Bolzano, giugno 2018

Norbert Lantschner
Presidente della Fondazione ClimAbita

INDICE

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | SISTEMI COSTRUTTIVI | |
| 1.1 | Principi generali | 11 |
| 1.2 | Blockbau | 11 |
| 1.3 | X-Lam | 12 |
| 1.4 | Telaio | 17 |
| 1.5 | Sistemi senza colle | 20 |
| | 1.5.1 Pannello chiodato (NLT) | 20 |
| | 1.5.2 Pannello fissato con perni (DLT) | 21 |
| 1.6 | Sistemi nervati e alveolari/scatolari | 24 |
| 1.7 | Altri sistemi | 28 |
| | 1.7.1 Sistema Holzius | 29 |
| | 1.7.2 Sistema Brettstapel | 30 |
| | | |
| 2 | FISICA TECNICA DELLE COSTRUZIONI IN LEGNO | |
| 2.1 | Premessa | 31 |
| 2.2 | Caratteristiche termoigrometriche dei materiali | 32 |
| | 2.2.1 Conducibilità | 32 |
| | 2.2.2 Permeabilità al vapore | 38 |
| 2.3 | Calcolo trasmittanza strutture omogenee | 41 |
| 2.4 | Calcolo trasmittanza strutture disomogenee | 43 |
| | 2.4.1 Parete a telaio | 43 |
| | 2.4.2 Limiti di applicabilità del metodo | 47 |
| | 2.4.3 Parete in X-Lam | 49 |
| 2.5 | Migrazione del vapore | 51 |
| | 2.5.1 Diffusione e convezione del vapore | 52 |
| | 2.5.2 Strati funzionali, freni e barriere al vapore | 56 |
| | 2.5.3 Verifiche termoigrometriche | 58 |
| | 2.5.4 Diffusione e convezione | 76 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.6 | Parametri estivi | 77 |
| 2.7 | Stratigrafie | 82 |
| 2.7.1 | Parete esterna X-Lam non ventilata - Isolante mono e bidensità | 82 |
| 2.7.2 | Parete esterna a telaio non ventilata | 84 |
| 2.7.3 | Parete esterna X-Lam ventilata - Con rivestimento continuo e discontinuo | 86 |
| 2.7.4 | Parete esterna a telaio ventilata - Con rivestimento continuo e discontinuo | 88 |
| 2.7.5 | Solaio interpiano X-Lam | 91 |
| 2.7.6 | Solaio interpiano a travetti | 92 |
| 2.7.7 | Copertura inclinata travetti e X-Lam | 93 |
| 2.7.8 | Copertura piana non ventilata - Travetti e X-Lam | 94 |
| 2.8 | Tetto piano | 95 |
| 2.8.1 | Il riassorbimento | 101 |
| 2.8.2 | Le analisi termoigrometriche | 102 |
| 2.8.3 | Le 7 regole d'oro | 103 |

3 TENUTA ALL'ARIA

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.1 | Concetti base: perché è importante la tenuta all'aria | 107 |
| 3.1.1 | Acustica | 107 |
| 3.1.2 | Comfort | 108 |
| 3.1.3 | Energia | 108 |
| 3.1.4 | Ventilazione meccanica | 109 |
| 3.1.5 | Condense interstiziali | 109 |
| 3.2 | Strati funzionali: tenuta aria e tenuta vento | 109 |
| 3.3 | Progettazione della tenuta all'aria per diversi sistemi costruttivi | 112 |
| 3.3.1 | Telaio | 112 |
| 3.3.2 | Pannelli multistrato con colla | 113 |
| 3.3.3 | Pannelli multistrato senza colla | 114 |
| 3.3.4 | Coperture | 115 |
| 3.3.5 | Piccole aperture | 118 |
| 3.4 | Controlli di cantiere | 120 |
| 3.5 | Rilievo strumentale in cantiere: Blower door test | 122 |
| 3.6 | Criticità del sistema a controparete ed importanza del pre-test | 131 |
| 3.7 | Blower door test e tetti piani | 134 |
| 3.8 | Indicazioni normative | 134 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.8.1 | Provincia Autonoma di Trento - D. Pres. P. 2 agosto 2017, n. 13-66/Leg | 134 |
| 3.8.2 | Provincia Autonoma di Bolzano - Direttiva CasaClima 2015 (“ <i>Direttiva Tecnica Nuovi Edifici</i> ”) | 136 |

4 STATICA

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.1 | Aspetti normativi | 139 |
| 4.2 | Tensioni ammissibili e stati limite | 141 |
| 4.3 | Caratteristiche meccaniche | 145 |
| 4.3.1 | Fattori che influenzano le resistenze meccaniche del legno | 145 |
| 4.3.2 | Profili prestazionali del legno da costruzione | 146 |
| 4.4 | Comportamento sismico | 149 |
| 4.5 | Verifica delle vibrazioni | 158 |
| 4.5.1 | Modi di vibrare di un solaio (analisi FEM) | 162 |
| 4.6 | Resistenza al fuoco | 166 |
| 4.7 | Modellazione numerica | 170 |
| 4.8 | Modellazione superfici: X-Lam, telaio e sezioni composte | 173 |
| 4.9 | Connessioni e sistemi di fissaggio | 175 |
| 4.10 | Connessione a terra | 181 |
| 4.10.1 | Problematiche legate al mancato livellamento | 186 |
| 4.10.2 | Riempimento sottoparete con malta espansiva | 188 |
| 4.10.3 | Fissaggio lato calcestruzzo | 190 |
| 4.10.4 | Indicazioni specifiche per pareti a telaio | 199 |

5 RESPONSABILITÀ DEL PROGETTISTA E DEL DIRETTORE DEI LAVORI

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.1 | Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo | 205 |
| 5.2 | Analisi e verifiche svolte con l’ausilio di codici di calcolo | 219 |
| 5.3 | Direttore dei lavori e accettazione materiale in cantiere | 220 |
| 5.3.1 | Staffe | 225 |
| 5.3.2 | Materiali e prodotti a base di legno | 228 |
| 5.4 | Collaudo | 231 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 6 | DURABILITÀ | |
| 6.1 | Concetti base | 235 |
| 6.2 | Il progetto della durabilità | 238 |
| 6.3 | Dettaglio di attacco a terra | 241 |
| | 6.3.1 Durabilità | 241 |
| | 6.3.2 Aspetti statici | 247 |
| | 6.3.3 Aspetti termici | 252 |
| 6.4 | Criteri di scelta dei materiali | 258 |
| 6.5 | Allontanamento delle acque meteoriche | 259 |
| | 6.5.1 Pluviali inseriti nello spessore del cappotto | 260 |
| 6.6 | Sistemi di monitoraggio | 264 |
| 6.7 | Controlli di cantiere | 269 |
| 6.8 | Controlli e manutenzione periodica | 270 |
| | | |
| 7 | INGEGNERIZZAZIONE E CONCETTO BIM | |
| 7.1 | Cos'è | 273 |
| 7.2 | Importanza dell'ingegnerizzazione | 276 |
| 7.3 | Trasportabilità e montaggio | 286 |
| | 7.3.1 Generalità | 286 |
| | 7.3.2 Oversea | 290 |
| 7.4 | Il concetto BIM applicato alle costruzioni in legno | 294 |
| 7.5 | Concetto WYDIWYG® | 295 |
| 7.6 | Modellazione geometrie complesse | 299 |
| | | |
| 8 | AMPLIAMENTI E SOPRAELEVAZIONI IN LEGNO | |
| 8.1 | Concetti generali | 305 |
| 8.2 | Valutazione delle strutture esistenti | 308 |
| | 8.2.1 Analisi storico-critica | 308 |
| | 8.2.2 Rilievo | 309 |
| | 8.2.3 Caratterizzazione meccanica dei materiali | 310 |
| | 8.2.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza | 310 |
| | 8.2.5 Azioni | 311 |
| | 8.2.6 Materiali utilizzati per l'intervento | 311 |
| | 8.2.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche | 311 |
| 8.3 | Vantaggi offerti dal legno | 314 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 8.3.1 | Leggerezza delle strutture e alta capacità portante | 314 |
| 8.3.2 | Cantiere pulito | 315 |
| 8.3.3 | Flessibilità e libertà progettuale | 315 |
| 8.3.4 | Velocità di posa | 315 |
| 8.4 | Dettagli costruttivi | 316 |
| 9 | DETTAGLI COSTRUTTIVI | |
| 9.1 | Attacco a terra – parete esterna X-Lam | 321 |
| 9.2 | Attacco a terra – parete esterna a telaio | 323 |
| 9.3 | Spigolo parete – parete non ventilata | 325 |
| 9.4 | Spigolo parete – parete ventilata | 327 |
| 9.5 | Spigolo parete – parete a telaio non ventilata | 329 |
| 9.6 | Parete – parete non ventilata | 331 |
| 9.7 | Solaio interpiano – parete esterna | 332 |
| 9.8 | Solaio interpiano – parete interna | 334 |
| 9.9 | Copertura – parete esterna (sezione trasversale) | 335 |
| 9.10 | Copertura – parete esterna (sezione longitudinale) | 337 |
| 9.11 | Copertura piana – parete esterna | 339 |
| 9.12 | Colmo copertura travetti | 341 |
| 9.13 | Attraversamento copertura con camino “caldo” | 342 |
| 9.14 | Lucernario su copertura inclinata | 344 |
| 9.15 | Passaggi impianti | 346 |
| 9.16 | Connessione parete – serramento | 348 |
| 9.17 | Connessione serramento con cassonetto frangisole – parete | 351 |
| 10 | ESEMPI REALIZZATI | |
| 10.1 | Makoko Floating School II | 353 |
| 10.2 | Edificio a sei piani Modena | 355 |
| 10.3 | Ex Officine Scaglietti | 358 |
| 10.4 | Quartier generale VisLab | 361 |
| 10.5 | Centro residenziale per la grave disabilità | 364 |
| 10.6 | Palestra Palagano | 368 |
| 10.7 | Supermercato Massa Finalese | 370 |
| 10.8 | Palestra comunale Salvador Allende di Cavezzo | 372 |

| | |
|---|-----|
| 10.9 Centro socio-riabilitativo diurno per disabili a San Felice | 375 |
| 10.10 Bamboo Stalactite | 377 |
| 10.11 Uffici Arimondo | 379 |
| 10.12 Facciata EJC | 383 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 387 |
| | |
| Riferimenti bibliografici | 387 |
| | |
| Riferimenti normativi, legislativi e buone prassi | 388 |

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato e sopportato durante la stesura di questo libro. Senza il prezioso aiuto dei miei collaboratori non sarei mai riuscito a completare il lavoro.

Ringrazio inoltre l'Editore per la fiducia e Dario e Riccardo per aver insistito ed avermi infine convinto a scrivere questo nuovo libro che racchiude le esperienze e conoscenze acquisite in oltre 15 anni di attività.

Voglio infine ringraziare Lino ed Elena perché senza di loro nulla sarebbe mai iniziato.

Buona lettura,

L'Autore

1

SISTEMI COSTRUTTIVI

1.1 PRINCIPI GENERALI

Nel corso degli anni, se non dei secoli, sono nate e si sono evolute numerose tipologie costruttive per la realizzazione di edifici in legno. Sviluppatesi in specifici contesti geografici grazie allo stretto legame con il luogo, devono oggi la loro grande diffusione alle innovazioni nel settore produttivo che ha saputo valorizzare le caratteristiche prestazionali del legno e le sue possibilità realizzative. L'insieme dei sistemi costruttivi si può dividere tra tecniche costruttive *massicce* e tecniche costruttive *leggere*: le prime prevedono l'utilizzo di elementi in legno massiccio di grandi dimensioni per realizzare pareti portanti ed orizzontamenti (con o senza colla come si vedrà nei successivi paragrafi), mentre le seconde l'uso di elementi di sezione ridotta per realizzare una struttura portante più leggera che dovrà poi essere completata con sistemi di chiusura/controventamento.

1.2 BLOCKBAU

Il sistema di costruzione Blockbau ha origini molto antiche ed è diffuso ancora oggi in vaste aree geografiche che vanno dall'Europa centrosettentrionale alla Scandinavia, dall'arco alpino ai Balcani fino all'America del Nord. È un tipo di costruzione massiccia nel quale gli elementi vengono sovrapposti orizzontalmente ed incrociati per formare le pareti. Il collegamento degli elementi allo spigolo dell'edificio veniva realizzato mediante intagli e incastri che richiedevano una particolare maestria e rappresentavano una sorta di firma dell'artigiano. Per secoli si sono utilizzati tronchi a sezione circolare mentre ora nelle costruzioni moderne vengono utilizzate prevalentemente (ma non solo) travi rettangolari lavorate con macchine CNC.

Al giorno d'oggi per tutta la lunghezza di contatto delle travi viene fresato un incastro a maschio e femmina per aumentare la tenuta e in esso viene spesso inserita una guarnizione elastica. Lo spessore della sola parte strutturale parte indicativamente da 140 mm e può arrivare a superare i 300 mm. Questo sistema costruttivo presenta alcune criticità di non facile soluzione: tenuta all'aria, movimenti nel tempo in conseguenza dei cambiamenti climatici (essenzialmente umidità) e stabilità strutturale. Il Blockbau viene spesso scelto in virtù della finitura estetica esterna e pertanto è piuttosto raro trovare un cappotto di rivestimento; l'isolante, quando presente, viene quindi posato prevalentemente nella parte interna.



Figura 1.1. Esempio di costruzione Blockbau. [Fonte: Boraschi legnami].



Figura 1.2. Esempio di edificio in Blockbau. [Fonte: Boraschi legnami].

1.3 X-LAM

La norma di prodotto UNI EN 16351 “*Strutture di legno - Pannello di tavole incrociate - Requisiti*” riporta la seguente definizione del prodotto “*Cross Laminated Timber*”: “*prodotto costituito da almeno due strati incollati disposti ortogonalmente tra di loro costituiti da tavole classificate secondo la resistenza o da pannelli a base di*

legno”. La normativa inoltre definisce finalmente la corretta dicitura di questo materiale X-Lam: “*Legno strutturale formato da almeno tre strati di cui almeno tre sono incollati ortogonalmente, che comprende sempre strati di legno e può anche comprendere strati di pannelli a strato di legno*”.

Il pannello incollato o pannello multistrato è un’invenzione piuttosto recente nel panorama delle costruzioni in legno ed in circa 20 anni si è guadagnata una fetta di mercato molto importante. A seconda delle zone geografiche può essere indicato in diversi modi:

- X-Lam, Crosslam: Sud Europa;
- BSP (Brettsperholz): zona tedesca;
- CLT (Cross Laminated Timber): zone anglofone.

Negli ultimi anni sta prendendo sempre più piede quest’ultima dicitura a livello internazionale.



Figura 1.3. Area di stoccaggio dei pannelli X-Lam in cantiere.

Il pannello è composto da almeno tre strati di tavole in legno di conifera sovrapposti ed incollati uno sull’altro in modo tale che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano del pannello di 90° rispetto agli strati adiacenti. La sezione così ottenuta è volutamente simmetrica. In questa maniera si forma una struttura bidimensionale anche di grandi dimensioni dove fondamentalmente l’unico limite è rappresentato dal trasporto: il numero di strati e lo spessore finale dipendono dal produttore e dalla resistenza richiesta dal progettista.

Le tavole che compongono il pannello hanno una larghezza variabile da 80 mm a 300 mm e uno spessore da 19 mm a 40 mm e di regola sono collegate longitudinalmente tramite giunti incollati a pettine (finger joint). La loro tenuta è necessaria per

garantire la continuità strutturale analogamente a quanto si fa per il legno lamellare; le tavole possono inoltre essere incollate fra loro anche sul lato sottile in base al processo produttivo scelto. La pressione necessaria a garantire l'ideale presa dell'incollaggio, eseguito in ambiente controllato, viene effettuata per mezzo di pistoni idraulici o in alternativa aspirando l'aria e quindi creando il vuoto all'interno di un "sacco" a perfetta tenuta nel quale è inserito il pannello in fase di produzione.

Come già anticipato, le dimensioni massime dei pannelli variano da produttore a produttore in funzione delle omologazioni: il vincolo principale è rappresentato dal trasporto ma in casi eccezionali la lunghezza dei pannelli può superare i 22 m per una larghezza superiore a 4 m. In questi casi basta un vento molto leggero per far muovere in maniera imprevedibile il pannello in fase di posa.

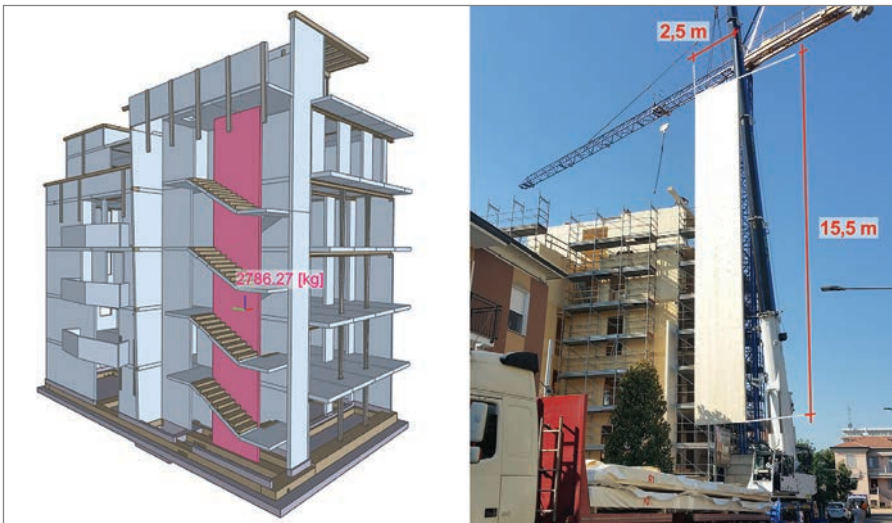


Figura 1.4. Pannello X-Lam di dimensioni 15,5x2,5 m per un edificio multipiano a Modena.

La struttura del pannello così ottenuta garantisce un'elevata stabilità in tutte le direzioni conferendo al prodotto una rigidità che lo rende adeguato anche alle strutture più complesse (ad esempio edifici multipiano, strutture commerciali, grandi luci, etc.). Allo stesso tempo, il pannello risulta essere anche estremamente versatile in quanto può essere utilizzato per la realizzazione di pareti, solai piani ed inclinati, travi parete, etc. In assenza di problematiche specifiche, lo spessore delle pareti può variare tra i 100 mm ed i 120 mm, sufficienti per arrivare fino a 2/3 piani; superato questo numero di piani generalmente lo spessore viene aumentato per soddisfare le esigenze statiche.

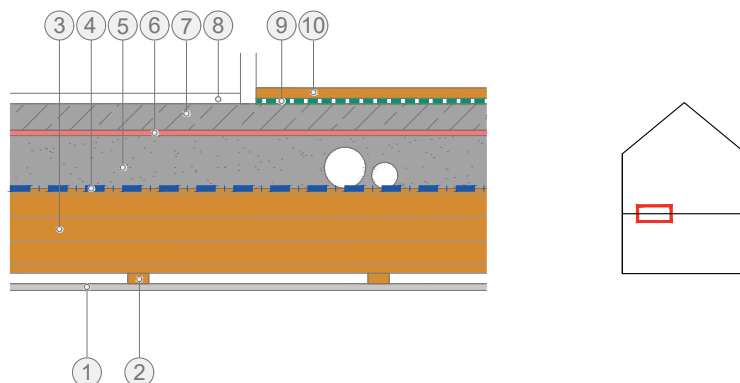
Se il pannello viene invece utilizzato come elemento solaio, gli spessori aumentano e possono variare tra i 140 mm e i 300 mm, o più, per particolari richieste. La coibentazione di questi elementi viene applicata sia internamente (vano impianti) che esternamente (finitura a cappotto), come si vedrà nei capitoli successivi dedicati alle stratigrafie.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



2.7.5 Solaio interpiano X-Lam

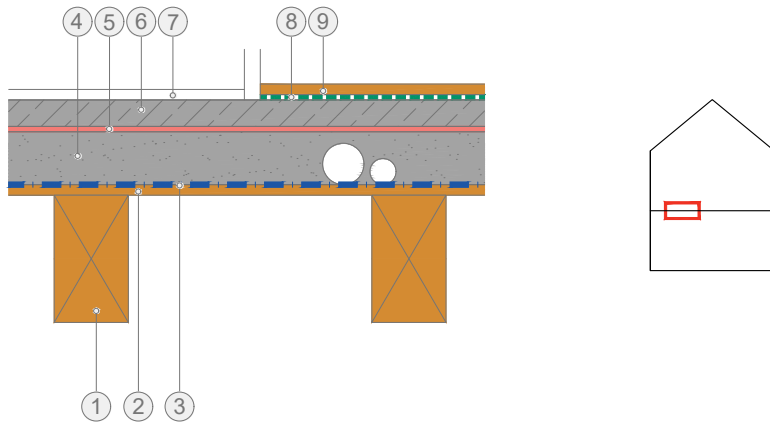


| ID | Spessore [mm] | Descrizione |
|----|---------------|--|
| 1 | 12,5 | Pannello fibrogesso |
| 2 | 20 | Listello in legno 40x20 |
| 3 | 160 | Pannello X-Lam |
| 4 | | Membrana protettiva |
| 5 | 100 | Massetto alleggerito per impianti |
| 6 | | Isolante acustico |
| 7 | 50 | Massetto radiante |
| 8 | 20 | Piastrelle |
| 9 | 7 | Tappetino rigido in fibra di legno anticalpestio |
| 10 | 20 | Pavimento in legno |

Figura 2.49. Dettaglio costruttivo chiusura orizzontale di interpiano e tabella materiali.

Il solaio X-Lam è dotato di un'elevatissima rigidità e può essere correttamente assimilato ad un piano infinitamente rigido dal punto di vista statico. Il dimensionamento va fatto considerando non solo deformazioni e tensioni ma anche e soprattutto le vibrazioni, dato che su luci superiori ai 4 m questo criterio diventa il più penalizzante come si vedrà nel capitolo 4 dedicato alla statica. Solai non dimensionati correttamente sotto questo punto di vista presentano un peggioramento delle prestazioni acustiche e, caso più grave, malessere alle persone che lo utilizzano in quanto si crea una sgradevole sensazione di "rimbalzo" quando si cammina. Analisi su campo ed in laboratorio hanno dimostrato come le vibrazioni indotte da altri siano quelle meno gradite all'uomo e questo è il caso di un solaio a due campate con una persona ferma su una e una in movimento sull'altra: quella ferma percepirà i movimenti causati dall'altra persona senza esserne co-responsabile. Il solaio orizzontale deve smorzare due tipi di onde: rumore aereo e rumore di calpestio. Con il freno a vapore si protegge la struttura in legno nel momento del getto del massetto; inoltre si regola il passaggio di vapore attraverso il pacchetto e si garantisce la tenuta all'aria degli ambienti sottostanti.

2.7.6 Solaio interpiano a travetti



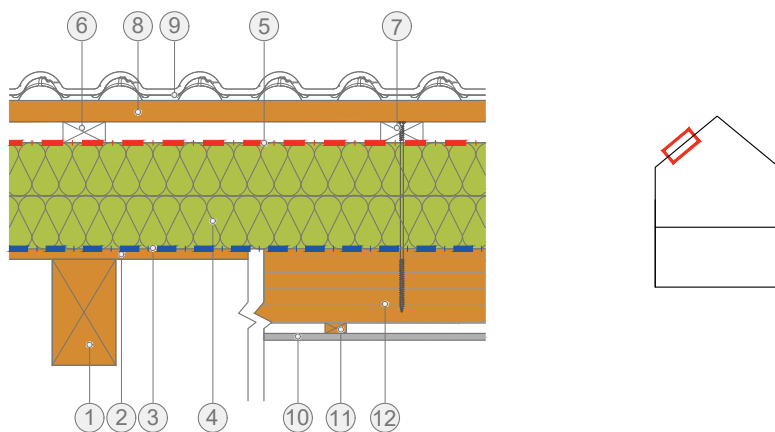
| ID | Spessore [mm] | Descrizione |
|----|---------------|--|
| 1 | | Travetti 140x240, i = 60 cm |
| 2 | 20 | Perline |
| 3 | | Membrana protettiva |
| 4 | 100 | Massetto alleggerito per impianti |
| 5 | | Isolante acustico |
| 6 | 50 | Massetto radiante |
| 7 | 20 | Piastrelle |
| 8 | 7 | Tappetino rigido in fibra di legno anticalpestio |
| 9 | 20 | Pavimento in legno |

Figura 2.50. Dettaglio costruttivo chiusura orizzontale di interpiano e tabella materiali.

Il solaio interpiano svolge una duplice funzione: portare le azioni gravitazionali sugli elementi portanti verticali e distribuire le azioni orizzontali sulle pareti sottostanti in maniera proporzionale a rigidità e distanza baricentro rigidità – baricentro masse. Questa seconda funzione è molto importante nel caso di sisma e pertanto il solaio a travetti deve essere progettato per formare un elemento di elevata rigidità nel suo piano. La reale capacità di distribuzione delle forze nel piano dipende dal rapporto rigidità parete – rigidità solaio: potrebbe infatti essere necessario prevedere la posa di un pannello OSB di opportuno spessore sopra il perlinato per aumentarne la rigidità o, in alternativa, può essere utilizzato anche del nastro forato incrociato e fissato con chiodi su ogni incrocio con i travetti. Per quanto riguarda l'acustica, i solai a travetti presentano il difetto di essere leggeri perciò si dovranno scegliere materiali dotati di opportuna rigidità dinamica in grado di smorzare il rumore aereo e soprattutto quello da calpestio. Anche in questo caso, si protegge la struttura in legno nel momento del getto del massetto con il freno a vapore grazie al quale si regola il

passaggio di vapore attraverso il pacchetto e si garantisce la tenuta all'aria degli ambienti sottostanti.

2.7.7 Copertura inclinata travetti e X-Lam



| ID | Spessore [mm] | Descrizione |
|----|---------------|-------------------------------|
| 1 | | Correntini 120x200, i = 80 cm |
| 2 | 20 | Perline |
| 3 | | Membrana freno vapore |
| 4 | 200 | Isolante 100+100 |
| 5 | 8 | Membrana traspirante |
| 6 | 40 | Listelli di ventilazione |
| 7 | | Vite Ø8/400 |
| 8 | 40 | Listello portategola |
| 9 | | Tegole |
| 10 | 12,5 | Pannello fibrogesso |
| 11 | 20 | Listello in legno 40x20 |
| 12 | 140 | Pannello X-Lam |

Figura 2.51. Dettaglio costruttivo chiusura di copertura e tabella materiali.

L'utilizzo di guarnizioni punto chiodo è raccomandato per garantire l'impermeabilità della membrana traspirante. Infatti, i listelli di ventilazione sono soggetti a notevoli cambiamenti di umidità nel corso dell'anno e si possono deformare lasciando scoperto il punto debole di entrata della vite. Le membrane vanno scelte sulla base delle condizioni climatiche esterne e di quelle interne con l'obiettivo di evitare la formazione di condensa interstiziale: dimensionare una membrana dal punto di vista fisico tecnico significa indicare il valore di permeabilità al vapore ovvero S_d espresso in metri. Nelle coperture in legno il coibente ha una funzione di estrema importanza in quanto ha il compito di garantire il comfort invernale ma anche quello acustico, estivo (alto sfa-



**Pagine non disponibili
in anteprima**



4.6 RESISTENZA AL FUOCO

Le NTC 2018 al paragrafo 3.6.1 definiscono l'incendio come *“la combustione autoalimentata ed incontrollata di materiali combustibili presenti in un compartimento”*. Per il documento tecnico del Consiglio Nazionale delle Ricerche, il DT 206 R1/2018, *“la resistenza al fuoco non è una caratteristica intrinseca dei materiali ma esprime una prestazione dell'elemento strutturale, o dell'elemento non strutturale, o della struttura nei confronti dell'azione di incendio, dipendendo quindi, oltre che dalle proprietà fisiche e meccaniche del materiale, dai criteri costruttivi e realizzativi della struttura e quindi anche dalle scelte progettuali effettuate”*.



Figura 4.11. Struttura in legno rimasta vittima di un incendio senza conseguenze per gli occupanti.

Riprendendo le NTC (§ 3.6.1.1), “*La resistenza al fuoco riguarda la capacità portante in caso di incendio per una struttura, per una parte della struttura o per un elemento strutturale nonché la capacità di compartimentazione rispetto all’incendio per gli elementi di separazione sia strutturali, come muri e solai, sia non strutturali, come porte e tramezzi*” dove la capacità portante in caso di incendio viene definita come “*l’attitudine di una struttura, di una parte della struttura o di un elemento strutturale a conservare una sufficiente resistenza meccanica sotto l’azione del fuoco con riferimento alle altre azioni agenti*”.

Par. 2.2.3: “*Quando necessario, i rischi derivanti dagli incendi devono essere limitati progettando e realizzando le costruzioni in modo tale da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti, nonché da limitare la propagazione del fuoco e dei fumi*”. La normativa individua le prestazioni richieste alle strutture di un edificio in termini di livello, secondo la Tabella 4.14 (NTC 2018: Tab. 3.5.IV).

Tabella 4.14. Livelli di prestazione in caso di incendio.

| | |
|--------------------|---|
| Livello I | Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze del collasso delle strutture siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile; |
| Livello II | Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l’evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all’esterno della costruzione; |
| Livello III | Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell’emergenza; |
| Livello IV | Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell’incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse; |
| Livello V | Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell’incendio, il mantenimento della totale funzionalità delle strutture stesse. |

I livelli di prestazione comportano classi di resistenza al fuoco stabilite per i diversi tipi di costruzioni e sono (par. 3.6.1.3): “*15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360; esse esprimono il tempo, in minuti primi, durante il quale la resistenza al fuoco deve essere garantita*”.

Il livello di prestazione richiesto dovrà di volta in volta essere definito da parte del tecnico responsabile.

Talvolta la costruzione in legno viene scartata a tutto guadagno di altre tipologie perché il “*legno brucia*”. Premesso che si sta parlando comunque di un materiale infiammabile, va detto che esso presenta un comportamento “*prevedibile*” in caso di incendio. È cioè possibile a livello di progettazione e di calcolo capire, analizzare e prevedere il meccanismo di collasso della struttura una volta noti alcuni punti chiave:

- la velocità di carbonizzazione è costante e tabulata nelle normative di riferimento; ad esempio per il legno lamellare di abete si considera 0,7 mm/min ovvero in 60 minuti la parte esposta al fuoco si riduce di $60 \text{ min} \times 0,7 \text{ mm/min} = 42 \text{ mm}$;
- la parte di legno non combusta mantiene inalterate le proprie caratteristiche meccaniche di resistenza anche a fronte di un aumento sensibile della sua temperatura.

Il metodo di verifica probabilmente più utilizzato dai progettisti è quello cosiddetto della “*sezione efficace*” che prevede il calcolo della sezione residua efficace al termine

dei minuti di incendio richiesti. La Figura 4.12 mostra un'immagine tratta dal documento tecnico del CNR-DT 06 R1/2018: "Ai fini della determinazione della resistenza di un elemento ligneo, con riferimento alla sua sezione trasversale, si definiscono i seguenti termini:

- *linea di carbonizzazione: confine tra strato carbonizzato e sezione trasversale residua;*
- *sezione trasversale residua: sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato;*
- *sezione trasversale efficace: sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato e di un successivo strato in cui si considerano nulli i valori di resistenza e di rigidezza".*

L'entità dei carichi e le proprietà meccaniche del materiale vengono in caso di incendio modificate: i primi diminuiti e le seconde aumentate. Con i dati così ottenuti si procede alla verifica della sezione teoricamente rimasta non carbonizzata al termine dell'incendio.

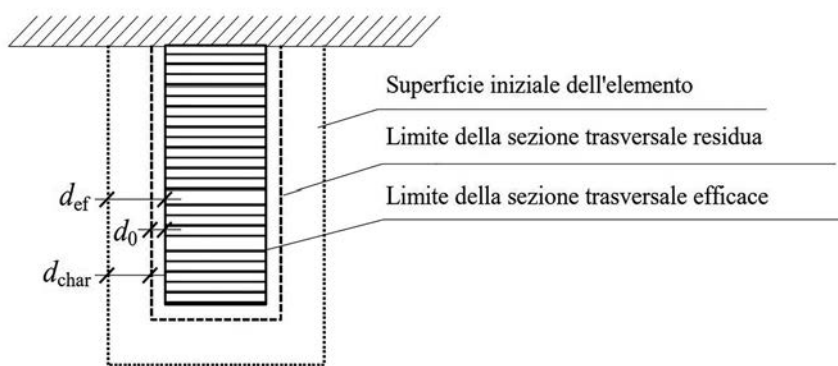


Figura 4.12. Sezione trasversale di un elemento ligneo esposto al fuoco.

Tale sezione si ottiene riducendo quella iniziale di una profondità di carbonizzazione "effettiva" calcolata come di seguito esposto:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \times d_0$$

dove:

d_{ef} è la profondità di carbonizzazione;

$d_{char} = \beta_0 \times t$;

β_0 è la velocità di carbonizzazione ideale, convenientemente superiore a quella effettiva, per includere gli effetti (negativi) di fessurazioni e arrotondamento degli spigoli della sezione;

k_0 è il coefficiente dipendente dal tempo t , variabile linearmente tra 0 (in cor-



**Pagine non disponibili
in anteprima**



prodotto considerato, ricordando che tutti i materiali da costruzione che entrano in cantiere devono essere marchiati CE. Si raccomanda sempre di verificare la validità dei valori sulle schede tecniche fornite dai vari produttori ovvero che questi siano conformi a quanto riportato sui certificati ETA.

Per la caratterizzazione della connessione si deve inoltre valutare che lo scorrimento dei giunti non generi spostamenti eccessivi e per fare questo è necessario ricorrere al fattore di scorrimento K_{ser} in accordo al § 7.1 dell'Eurocodice 5 o secondo quanto previsto nell'ETA del prodotto utilizzato. La Tabella 4.15 riporta i valori di K_{ser} per i diversi sistemi di connessione.

Tabella 4.15. Prospetto 7.1 da Eurocodice 5 - Valori di K_{ser} per mezzi di unione e connettori in N/mm per diversi tipi di connessioni.

| Tipi di mezzo di unione | K_{ser} |
|--|-----------------------------|
| Spinotti | |
| Bulloni con o senza gioco ^{a)} | $\rho_m^{1,5} d / 23$ |
| Viti | |
| Chiodi (con preforatura) | |
| Chiodi (senza preforatura) | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$ |
| Cambrette | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$ |
| Connettori ad anello aperto di tipo A secondo EN 912 | |
| Connettori a tassello di tipo B secondo EN 912 | $\rho_m d_c / 2$ |
| Connettori a piastra dentata: | |
| - connettori dei tipi da C1 a C9 secondo EN 912 | $1,5 \rho_m d_c / 4$ |
| - connettori dei tipi C10 e C11 secondo EN 912 | $\rho_m d_c / 2$ |

^{a)} Si raccomanda che il gioco sia aggiunto separatamente alla deformazione.

4.10 CONNESSIONE A TERRA

Un caso particolare di connessioni che merita un approfondimento è il collegamento della struttura in legno alla fondazione in c.a.

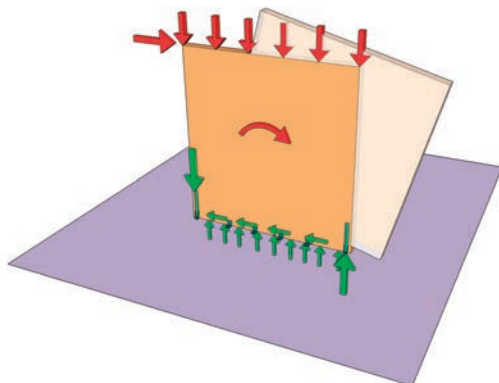


Figura 4.27. Azioni agenti sulla parete: le frecce rosse indicano le azioni mentre quelle verdi le reazioni.

Se portiamo l'attenzione sulla disposizione delle pareti sismo-resistenti in pianta, nel caso di edifici multipiano il solaio svolge la funzione di "raccoliere" le forze orizzontali e di distribuirle sulle sottostanti. È facile quindi comprendere come ad un maggior numero di pareti sismo-resistenti corrisponda una più efficace ed uniforme distribuzione degli sforzi con un conseguente aumento della sicurezza strutturale e diminuzione delle forze. Tali forze si traducono in un insieme di azioni di tipo roto-traslazionale sulle pareti al piano terra che sono solitamente trasferite alla fondazione tramite due tipologie di staffe metalliche: le staffe hold-down con il compito di impedire la rotazione delle pareti e le squadrette a taglio delegate a frenare la traslazione dell'edificio. Per impedire la rotazione della parete le staffe hold-down vengono poste il più possibile alle estremità della stessa in modo tale da massimizzare il braccio e quindi riuscire a sfruttare al meglio la capacità portante della connessione metallica. Per quanto riguarda le squadrette a taglio, esse vengono di norma disposte ad interasse regolare lungo il lato inferiore della parete per distribuire le forze su tutta la propria lunghezza.

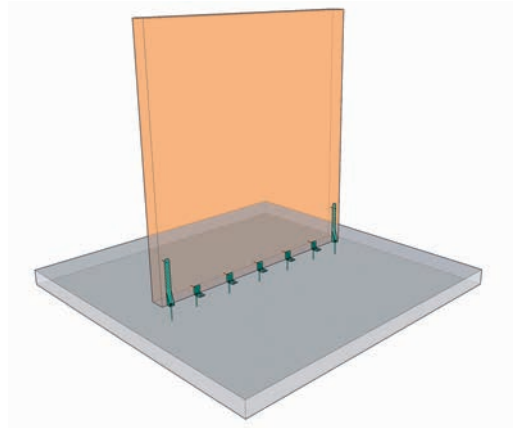


Figura 4.28. Fissaggio parete a terra senza cordolo di rialzo.

DISTANZE MINIME

chiodatura parziale chiodatura totale

1 2

| LEGNO | | chiodo anker LBA Ø4 | vite LBS Ø5 |
|-------------------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| Connettore laterale - Bordo scarico | $a_{4,c}$ (mm) | $\geq 5d$ | ≥ 20 |

| CALCESTRUZZO | | ancorante chimico VINYLPRO / EPOPLUS | | |
|------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----|-----|
| | | M16 | M20 | M24 |
| Spessore minimo supporto | h_{min} (mm) | $h_{ef} + 2d_0$ | | |
| Diametro del foro nel calcestruzzo | d_0 (mm) | 18 | 24 | 28 |
| Coppia di serraggio | T_{inst} (Nm) | 80 | 120 | 160 |

h_{ef} = profondità effettiva di ancoraggio nel calcestruzzo

Figura 4.29. Estratto da manuale tecnico Rothblaas con distanze minime di installazione del fissaggio.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



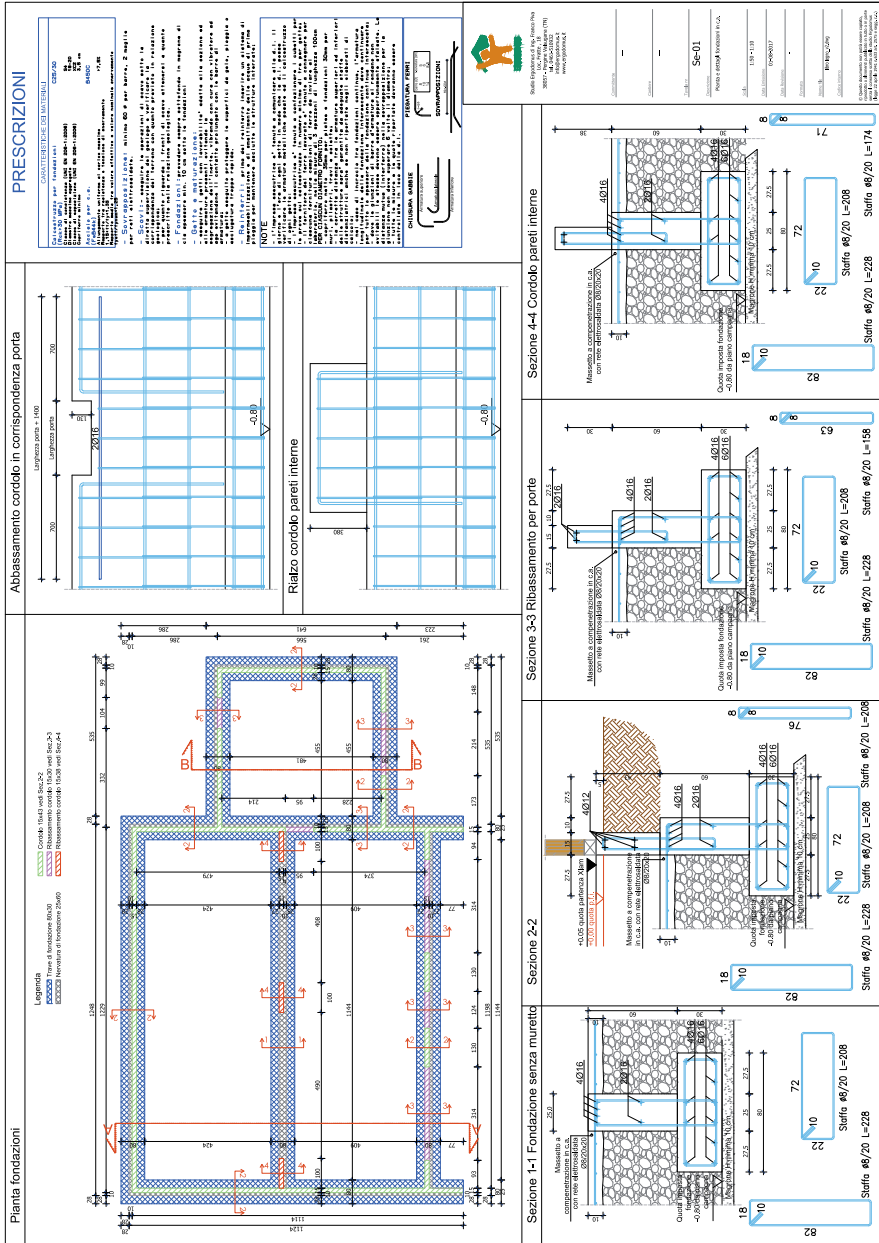


Figura 5.5. Pianta e dettagli di una fondazione in c.a.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



6.5 ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE METEORICHE

Come visto nei paragrafi precedenti, la principale causa di problematiche legate al deperimento della struttura in legno è sicuramente l'acqua. È necessario porre particolare attenzione a come allontanare dalla struttura non solo le acque provenienti dal terreno, dagli impianti o dalla condensa interstiziale, ma anche le acque meteoriche. In linea di principio, l'impermeabilizzazione di un edificio è assicurata da uno strato o da una membrana impermeabilizzante che, posizionata a protezione dell'isolante, non permette all'acqua di penetrare all'interno dello stesso e di venire a contatto con la struttura.

Come per il dettaglio di attacco a terra, una domanda sorge spontanea: è opportuno affidare l'intera "responsabilità" della tenuta all'acqua (e di conseguenza della durabilità della struttura) solamente ad una membrana? La risposta è no: oltre alla possibilità che vi siano degli errori di posa, nei 50 anni di vita nominale della struttura le membrane possono essere soggette a fenomeni di degrado che ne compromettono la tenuta.

Esistono degli accorgimenti progettuali che permettono di ridurre notevolmente il rischio di danni alla struttura causati dall'infiltrazione delle acque meteoriche e sono:

- evitare compluvi che possano convogliare le acque in punti stagnanti: sia nelle coperture piane che in quelle a falde inclinate, il principio generale deve essere quello di portare l'acqua all'esterno della struttura;
- evitare di nascondere il canale di gronda all'interno del cappotto esterno o di elementi strutturali;
- è buona norma che il canale di gronda sia mantenuto all'esterno delle pareti garantendo così l'ispezionabilità prevista dal piano di manutenzione.

L'inserimento del canale di gronda nel pacchetto della parete comporta le seguenti problematiche:

- problemi acustici: in condizioni di buono o cattivo tempo, le tubazioni con o senza acqua al loro interno conducono molto facilmente i rumori da una zona all'altra;
- interruzione dello strato isolante con conseguente ponte termico lineare: l'interruzione o la consistente riduzione dello strato isolante implica una discontinuità all'interno della parete; questa dev'essere tenuta in considerazione nelle analisi termoigrometriche in quanto, oltre ad un decremento delle prestazioni energetiche (ponte termico lineare), può aumentare il rischio di condensa interstiziale;
- spostamento del vapore per convezione nello spazio lasciato libero dalla coibentazione attorno al tubo normalmente circolare;
- impossibilità di ispezionare visivamente il tubo: ciò comporta che eventuali perdite (dovute ad intasamento del tubo o ad errori di posa) non siano diagnosticabili fino alla comparsa di sintomi visibili e che molto spesso si verificano solo quando i materiali che compongono gli strati interni dell'elemento parete sono già compromessi.

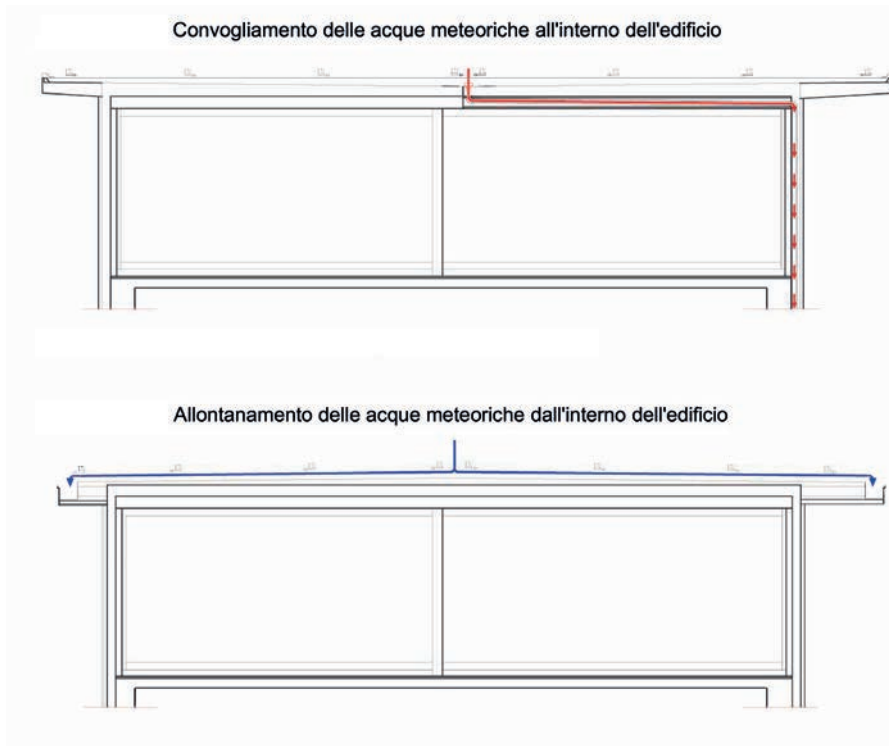


Figura 6.20. Sistemi di gestione delle acque meteoriche: convogliamento ed allontanamento delle acque.

6.5.1 Pluviali inseriti nello spessore del cappotto

Negli ultimi anni è purtroppo diventato “*di moda*” nascondere i pluviali all’interno dello strato isolante: oltre ai già citati problemi relativi alla non facile manutenzione, cosa succede dal punto di vista termico?

Le immagini seguenti si riferiscono ad un’analisi termica ad elementi finiti di una parete in X-Lam con controparete e cappotto esterno di spessore 160 mm all’interno del quale è stato inserito un pluviale di diametro 100 mm. Le condizioni al contorno sono quelle di Bologna viste nei capitoli precedenti, ma in questo caso la temperatura esterna è stata assegnata anche alla superficie interna del tubo in quanto comunica direttamente con l’ambiente freddo.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



7.4 IL CONCETTO BIM APPLICATO ALLE COSTRUZIONI IN LEGNO

Legno, BIM, produzione off-site: cos'hanno in comune questi termini? Ingegnerizzazione. Come visto nei paragrafi precedenti, con questo termine si indica quella particolare e delicatissima fase attraverso la quale si passa da un'idea progettuale (progetto esecutivo) alle indicazioni/istruzioni che consentono la produzione (progetto costruttivo).

Al giorno d'oggi, due tra i principali problemi che i progettisti si trovano ad affrontare in cantiere sono la *precisione* e la *corrispondenza tra quanto progettato e quanto realizzato* in opera. A volte il risultato non combacia e si deve o demolire o accettare un compromesso che non darà mai soddisfazione ai tecnici responsabili. È possibile che le tecnologie moderne non abbiano saputo risolvere questo problema? In realtà qualcosa sta iniziando a muoversi anche in un settore altamente restio al cambiamento come quello delle costruzioni, fermo da qualche decennio su metodi di lavoro piuttosto antiquati. L'edilizia è un settore dove spesso si punta alla riduzione di prezzo del singolo bene/servizio ma non all'ottimizzazione dei processi di cantiere.

Il legno è un materiale che si presta bene all'ingegnerizzazione: ogni elemento deve essere infatti disegnato in 3d in maniera dettagliata, associato ad un numero di posa e prodotto con l'ausilio di macchine a controllo numerico CNC. Ad ogni elemento vengono inoltre associate numerose informazioni quali il tipo di legno, specifiche sulla finitura, composizione degli strati (nel caso di X-Lam), etc. Tutto ciò fa sì che un progetto di questo genere si possa inserire agevolmente in un flusso di lavoro di tipo BIM consentendo un rapido ed efficace scambio di dati con i tecnici che si occupano delle altre parti progettuali, ovvero architettonico, impianti, illuminazione, energetico, etc. Un altro grande vantaggio offerto da questa tecnologia è la prefabbricazione off-site e cioè la possibilità di far assemblare insieme di elementi in stabilimento così da minimizzare i tempi di montaggio in cantiere.

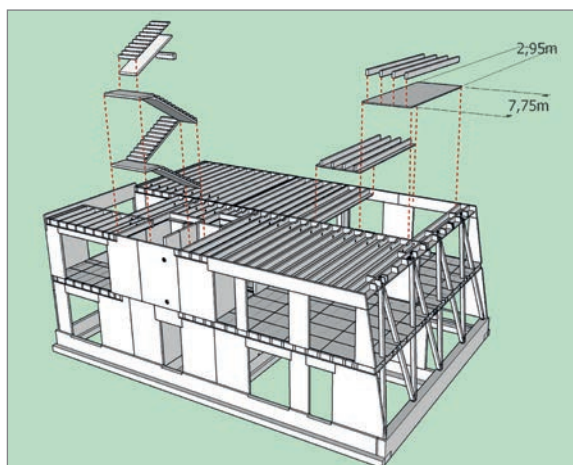


Figura 7.20. Padiglione Innovazione dell'Università di Parma: off-site vs on-site con 700 pezzi prodotti e 368 montati.

Off-site significa anche poter lavorare al coperto in condizioni ottimali indipendentemente dal meteo e permette di migliorare la sicurezza dei lavoratori. Le operazioni di assemblaggio in cantiere sono sempre “*a rischio pioggia*” e pertanto ogni giorno guadagnato va a ridurre questo fattore di rischio. Affinché ciò avvenga è però necessario uno scrupoloso controllo sul progetto di ingegnerizzazione che si concretizza nelle sue fasi finali in una sorta di “*processo di stampa 3d*” con però alcune differenze importanti:

- dimensioni degli elementi prodotti;
- nel legno si opera secondo il principio del “*togliere*”: partendo da un elemento più grande si ottiene quello della forma desiderata attraverso l’asportazione di materiale con apposite frese;
- nelle stampanti 3d si opera normalmente secondo il principio dell’“*aggiungere*” ovvero si crea un oggetto sovrapponendo strati successivi di materiale base.

Il paragone con le stampanti 3d è molto interessante perché fa capire il livello di precisione ottenibile e soprattutto le infinite possibilità offerte da questa nuova tecnologia che permette all’architetto/designer di inventare forme complesse prima irrealizzabili. Infatti in un processo CNC, definita la geometria dell’elemento, il passaggio macchina è relativamente indolore e spesso indipendente dalla complessità dell’oggetto stesso. L’aggiunta di una linea di lavorazione per una macchina CNC significa solo qualche minuto in più di lavoro mentre in cantiere la stessa lavorazione implicherebbe molte ore senza però avere la garanzia del risultato.

7.5 CONCETTO WYDIWYG®

Negli anni Novanta del secolo scorso, agli albori della stampa digitale (DTP), si era coniato un acronimo tutt’ora molto conosciuto agli utenti di quel tempo: WYSIWYG ovvero “*What You See Is What You Get*”. In lingua italiana la traduzione è “*quello che vedi è quello che ottieni*”, cioè nel caso specifico in oggetto “*quello che vedi a video è quello che ottieni in stampa*”. Quasi trenta anni fa cliccare un’icona e vedere uscire dalla stampante dopo pochi minuti una copia fedele di quanto si vedeva a schermo era una sorta di “*miracolo tecnologico*”. Oggi è dato per scontato, ma non sempre le cose sono state così facili.

Mettendo a confronto gli anni Novanta ed il giorno d’oggi, il processo cambia da WYSIWYG “*What You See Is What You Get*” a WYDIWYG® ovvero “*What You Draw Is What You Get*”: “*quello che disegni è quello che ottieni*”, siano esse geometrie semplici o complesse, oppure che si tratti di grandi o piccole dimensioni. Paradossalmente la cosa più complicata ora diventa disegnare la forma desiderata come si vedrà nel prossimo paragrafo.

WYDIWYG® significa soprattutto avere la certezza del risultato finale nell’ottica di una filosofia no-stress: si controlla tutto prima e, solo dopo aver dato l’approvazione, i pezzi vengono tagliati e lavorati con la precisione richiesta. Un esempio che chiaramente non rispetta il concetto di WYDIWYG è mostrato in Figura 7.21. Nell’immagine di sinistra è riportato un dettaglio di una tavola destinata al centro di taglio per la realizzazione di un foro su un pannello X-Lam: gli spigoli sono progettati con

angoli a 90°, definiti anche “*a spigolo vivo*”. Lo spigolo arrotondato invece non rispecchia quanto definito nel disegno macchina e richiede complesse ed inutili lavorazioni on-site.

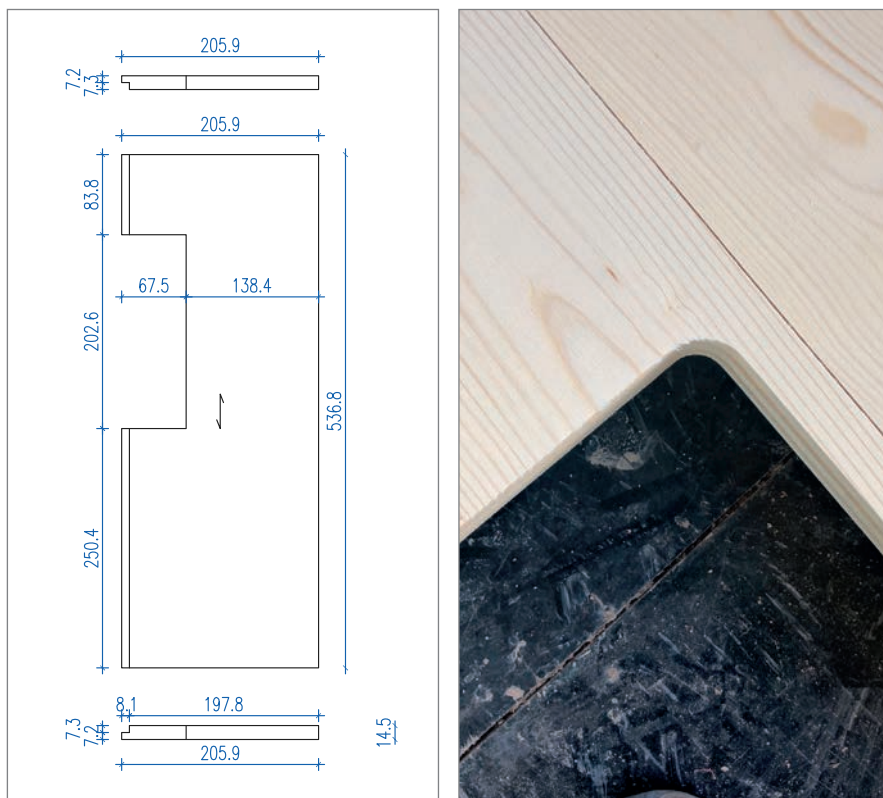


Figura 7.21. Tavola destinata al centro di taglio pannelli X-Lam e risultato finale.

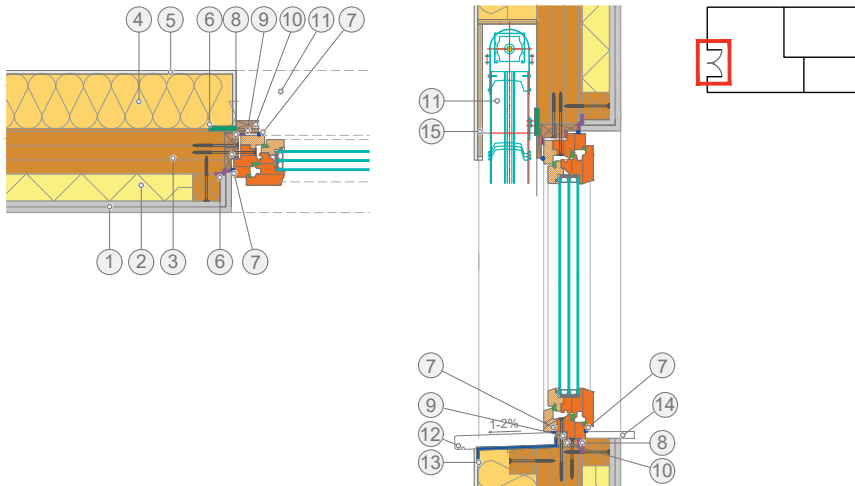
A questo punto non si può dire che il cantiere diventi una strada in discesa ma si può sicuramente affermare che non è più un’impervia e ripida strada di montagna. La tecnologia WYDIWYG® permette al progettista generale di avere il massimo controllo su tutti gli aspetti prima di dare il via alla produzione e, ancora una volta, di avere la certezza del risultato senza preoccupazioni o la necessità di continui, complessi e costosi rilievi in cantiere.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



9.17 CONNESSIONE SERRAMENTO CON CASSONETTO FRANGISOLE - PARETE



| ID | Spessore [mm] | Descrizione |
|----|---------------|----------------------------|
| 1 | 25 | Doppio pannello fibrogesso |
| 2 | 60 | Controparete isolata |
| 3 | 100 | Pannello X-Lam |
| 4 | 120 | Cappotto isolante |
| 5 | 8 | Rasatura |
| 6 | | Nastro adesivo acrilico |
| 7 | | Silicone |
| 8 | | Nastro espandente |
| 9 | | Falso telaio |
| 10 | | Spessore |
| 11 | | Cassonetto frangisole |
| 12 | | Davanzale esterno |
| 13 | | Nastro adesivo butilico |
| 14 | | Davanzale interno |
| 15 | | Porta intonaco |

Figura 9.27. Dettaglio costruttivo serramento con frangisole e tabella materiali.

Il cassonetto rappresenta un “vuoto” ovvero una zona fondamentale priva di coibentazione: ne segue che le temperature superficiali interne diminuiscono con conseguente aumento del rischio di formazione di condensa e diminuzione del comfort. Fin dalle prime fasi progettuali è importante conoscere, oltre allo spessore del cappotto esterno, anche quello del cassonetto utilizzato assicurandosi che i due risultino compatibili tra loro: il cassonetto deve essere più stretto del cappotto. Nel caso in cui risulti possibile, è raccomandata l’aggiunta di un pannello isolante ad alta densità tra



**Pagine non disponibili
in anteprima**



10.6 PALESTRA PALAGANO

Lo studio Ergodomus si è impegnato nella realizzazione di una palestra a Palagano (MO), comune dell'Emilia Romagna sull'Appennino modenese ad una quota di 710 m sul livello del mare, in cui coesistono fattori che hanno reso la progettazione un'interessante sfida ingegneristica.

La struttura della palestra presenta una pianta di forma rettangolare con dimensioni pari a circa 35,5×27,1 m per un'altezza fuori terra di circa 12 m ed una copertura curva all'estradosso e piana all'intradosso. Viste le problematiche dovute alle azioni sismiche decisamente elevate in quella zona, è stato scelto uno schema strutturale a portali controventati nel proprio piano con passo regolare di circa 5,70 m. Lo schema statico adottato per i portali presenta quattro incastri: due alla base dei pilastri e due tra pilastri e trave. Inoltre, per problematiche legate al trasporto, la trave orizzontale è stata divisa in 3 pezzi separati e successivamente montati in cantiere. La controventatura in direzione longitudinale è garantita dalle pareti realizzate con pannelli X-Lam fissate opportunamente ai pilastri dei portali ed alla fondazione in cemento armato.

La copertura piana è realizzata mediante pannelli X-Lam 60 mm composti da 3 strati rinforzati all'estradosso con travetti 10/28 in legno lamellare GI24h; i rinforzi offrono inoltre lo spazio per la posa dell'isolante realizzato con materiale leggero. Sopra al solaio piano viene realizzata una struttura in legno a supporto della sola lamiera che va a formare una copertura curva.

L'edificio è stato modellato accuratamente utilizzando molle rotazionali sul portale, la cui rigidità è stata calcolata in accordo alla tipologia ed al numero di connettori impiegati (in questo caso di tipo "a gambo cilindrico") secondo le indicazioni delle normative vigenti. Date le forze in gioco molto elevate è stato necessario lo studio di diverse giunzioni ibride legno-acciaio mediante viti a tutto filetto che hanno permesso di realizzare connessioni facili e veloci da posare e di ridurre al minimo le lavorazioni sugli elementi.

| Informazioni sul progetto | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Anno | 2014 |
| Luogo | Palagano (MO) |
| Dimensioni [m] | 35,5 x 27,1 |
| Tipologia costruttiva | Multibox, Portali, X-Lam |
| Carico neve [kN/m ²] | 3,23 |
| Resistenza al fuoco [minuti] | 60 |
| Accelerazione SLV [a _g /g] | 0,203 |
| Lunghezza max elementi [m] | 12 |
| Progetto | Arch. Alessandra Ontani |
| Costruzione | Rubner Holzbau |



Figura 10.11. Palaestra Palagano: fasi di cantiere.

(Segue Figura 10.11 >>)



Figura 10.11.

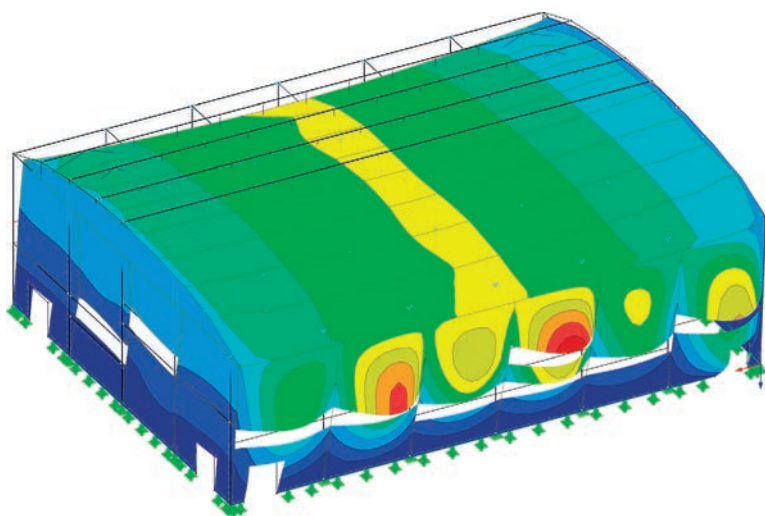


Figura 10.12. Modello elementi finiti.

10.7 SUPERMERCATO MASSA FINALESE

Il supermercato CONAD del comune di Finale Emilia a Massa Finalese (MO) ricopre una superficie di circa 2.000 m² e si sviluppa su un unico piano in elevazione per un'altezza massima di 7,3 m con una copertura piana caratterizzata da una pendenza minima. La struttura è stata ottimizzata sin dalle prime fasi di stesura del progetto