



REGIONE
TOSCANA



Giunta Regionale

Linee guida sugli edifici in legno di supporto alle associazioni sportive

“LINEE GUIDA SUGLI EDIFICI IN LEGNO DI SUPPORTO ALLE ASSOCIAZIONI SPORTIVE”

Gruppo di lavoro

Regione Toscana

Facoltà di Ingegneria di Firenze - Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale

C.N.R. Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (CNR-IVALSA)

CONI – Regione Toscana

ARSIA – Regione Toscana

Coordinamento del progetto

Arch. Pietro Novelli

Regione Toscana D.G. Presidenza

Settore Strumenti della Valutazione integrata e dello Sviluppo Sostenibile

Responsabile P.O. “Sostenibilità dello Sviluppo Locale”

Con la collaborazione di

Ing. Alessandro Degl’Innocenti – CONI Regione Toscana

Dott. Stefano Berti - C.N.R. Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (CNR-IVALSA)

Prof. Andrea Vignoli - Facoltà di Ingegneria di Firenze - Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale

2

Coordinamento generale dell’opera

Maurizio Follesa e Francesco Maione, *Studiodeda* – *Network sull’edilizia sostenibile*

Autori del presente volume

Andrea Borsi, *Arketipo*

Giuseppe Garofalo, *Arketipo*

Maurizio Follesa, *Studiodeda*

Marco Pio Lauriola, *Studiodeda*

Francesco Maione, *Studiodeda*

Antonino Moschetto, *Studiodeda*

Giuseppe Palanga, *Studiodeda*

Con la collaborazione di

Laura Calabri e Davide Vassallo *Timber Engineering*

Stampa

Centro stampa Giunta Regionale Toscana

Edizioni Regione Toscana - 2011

Distribuzione gratuita

Stampato in carta da edizioni ecologica

Copertina di Davide Vassallo, *Timber Engineering*

Salvatore Allocca

Assessore al Welfare, sport e politiche per la casa

PREFAZIONE

Nel luglio 2009 la Giunta Regionale Toscana nell'ambito di una azione per la ricostituzione della filiera del legno toscano, ha presentato e diffuso le "Linee Guida per l'edilizia in legno in Toscana" un manuale che ha suscitato un forte interesse negli addetti al settore.

La tecnologia del "compensato di tavole" costituisce una interessante opportunità per avviare sul territorio toscano una innovativa azione di sviluppo economico in assoluta coerenza con i principi dello sviluppo sostenibile.

La riattivazione di una filiera del legno toscano consentirà di produrre nuova economia in sintonia con l'ambiente, ma anche edifici di altissima qualità rispondenti alle esigenze di sicurezza, di ecoefficienza e di economia gestionale che rispondono alle necessità primarie dei committenti pubblici.

3

In questo contesto appare interessante allargare la potenzialità di questo nuovo sistema costruttivo anche agli edifici a supporto delle attività sportive che, come gli edifici scolastici, possono costituire un importante veicolo di informazione ed educazione ambientale.

Secondo le ultime statistiche Istat (anno 2000) il 28,4% della popolazione italiana, pari a circa 16 milioni di persone, pratica attività sportiva in forma continuativa o saltuaria.

D'altronde Gioco e Sport sono validi strumenti per conseguire importanti obiettivi educativi ed offrono concreta applicazione al fondamentale diritto al gioco, enunciato dall'art. 31 della Convenzione ONU sui diritti dell'infanzia.

Lo sport aiuta a creare un ambiente sicuro in cui i bambini e i ragazzi possono socializzare fra loro e con gli adulti. In un contesto sportivo i più giovani imparano ad esprimere ed a confrontare le proprie opinioni diventando attori del cambiamento sociale attraverso la partecipazione; in questo contesto dimostrare che è possibile realizzare edifici salubri, ecoefficienti, con sistemi costruttivi che non danneggiano l'ambiente ed hanno anzi bassissimi costi di gestione, può essere un veicolo comunicativo particolarmente importante per la crescita di una comune coscienza dell'abitare sostenibile.

L'inserimento di edifici in legno toscano per attività sportive può essere una occasione di riqualificazione di spazi urbani marginali come aree da valorizzare avverso, un'opera di riorganizzazione urbanistica del territorio vicina ai cittadini, con l'obiettivo di favorire il benessere, attraverso l'attività fisica, ma anche la socializzazione, la formazione continua dell'individuo l'integrazione e il rafforzamento della solidarietà sociale, con l'incontro e la conoscenza reciproca.

Per tutti questi buoni motivi la Giunta regionale ha deciso di predisporre un testo di approfondimento che consente di informare ed orientare le scelte degli Enti Locali e dei soggetti operatori del settore sportivo verso la realizzazione di edifici ad uso sportivo a struttura in legno toscano.

La linea Guida è uno strumento messo a disposizione degli operatori del settore per facilitare la diffusione della tecnologia del legno toscano ma anche e soprattutto per diventare veicolo di educazione ambientale dimostrando come si possa costruire uno stile di vita in sintonia con l'ambiente, la salute ed il sociale.

Paolo Ignesti

Presidente del Comitato Regionale del CONI
Toscana

PREFAZIONE

Lo sport, simbolo di benessere e salute, non può che tener conto del rispetto dell'ambiente anche in materia di impiantistica sportiva, delle frontiere della bioarchitettura e dell'utilizzo di materiali ecologici per la costruzione o il rifacimento di strutture sportive.

In questo senso è importante il lavoro portato avanti dalla Regione Toscana con la collaborazione del Coni Toscana, unitamente ad Università di Firenze, Arsia e CNR-IVALSA, un lavoro confluito in questa pubblicazione dedicata all'utilizzo del legno per la realizzazione degli impianti sportivi e che si pone come strumento di informazione e lavoro per enti, progettisti e tecnici.

Una "guida" per conoscere anche tutte le opportunità derivanti dall'utilizzo del legno come materiale "principe" per la costruzione delle strutture.

5

Opportunità che vanno dalla celerità di autorizzazione alla messa in opera da parte delle pubbliche amministrazioni fino alla rapidità di realizzazione degli impianti, che rappresenta anche un risparmio economico. Ma non solo. Ritengo infatti determinante porre l'accento sulle questioni relative al fatto di sostenere, in un futuro che deve divenire sempre più "presente", la pratica sportiva degli atleti all'interno di strutture salubri, ecologiche e rispettose dell'ambiente.

Come credo sia importante sostenere l'utilizzo della filiera produttiva toscana, con l'utilizzo di un materiale a km zero che proviene dalle nostre foreste, il tutto privilegiando il rispetto del patrimonio naturale della Regione.

Questa guida vuole infine essere uno "strumento" che indirizzi ad un cambiamento culturale in materia di edilizia sportiva, che aiuti a comprendere il quadro generale dei vantaggi che derivano dalla bioarchitettura, vantaggi che si concretizzano nel rispetto del territorio che ci ospita, opportunità che significano salute e che si sposano appieno con i valori dello sport.

Indice

INTRODUZIONE: SCOPO DEL LAVORO E AMBITI APPLICATIVI	9
1 LEGNO E MATERIALI NATURALI	13
1.1 La gestione forestale sostenibile e la realtà forestale della Regione Toscana	13
1.2 Nozioni fondamentali di tecnologia del legno.....	19
1.3 Legno massiccio, lamellare, pannelli e prodotti a base di legno per uso strutturale.....	27
1.4 La certificazione del materiale secondo le direttive europee sui prodotti da costruzione (marcatura CE)	38
2 COMPORTAMENTO STRUTTURALE, CRITERI DI PROGETTAZIONE, RIFERIMENTI NORMATIVI.....	43
2.1 Il quadro normativo per le costruzioni in legno.....	43
2.2 Le normative specifiche per l'edilizia di supporto alle attività sportive	48
2.3 Tipologie edilizie e sistemi costruttivi a struttura di legno, caratteristiche fondamentali, cenni al comportamento strutturale e criteri generali di progettazione	51
2.4 Ampliamenti e sopraelevazioni: interazione tra struttura in legno e costruzioni esistenti	93
3 ISOLAMENTI, RIVESTIMENTI E FINITURE	117
3.1 Isolamento termico e risparmio energetico	117
3.2 Permeabilità al vapore e tenuta all'aria nelle strutture di legno	124
3.3 Finiture interne e isolamento acustico	130
3.4 La scelta dell'isolante termico	131
3.5 Soluzioni impiantistiche e tecnologiche applicabili per la produzione di energia da fonti rinnovabili	134
3.6 Legno e sicurezza elettrica	137
3.7 Criteri di progettazione antincendio	139
4 ESEMPI DI PROGETTAZIONE E VOCI DI CAPITOLATO	147
4.1 La progettazione integrata e sostenibile negli edifici in legno	147
4.2 Esempi di progettazione di edifici in legno per l'edilizia sportiva	157
4.3 Capitolato tipo per la realizzazione di edifici a struttura di legno per l'edilizia sportiva	194

Introduzione

Scopo del lavoro e ambiti applicativi

L'emergenza legata ai cambiamenti climatici causati dalle emissioni inquinanti e, comunque, l'urgente necessità di contenere i consumi energetici, hanno messo in grande evidenza il ruolo giocato dalle costruzioni in termini di impegno di energia.

Se da un lato una parte importante di questi consumi si registra nella conduzione dell'edificio (riscaldamento, raffrescamento, illuminazione ecc), occorre considerare che una quota rilevante viene assorbita anche dalla produzione dei materiali da costruzione.

A questo va aggiunto il tema della salubrità degli edifici, intesa non solo nella fase di utilizzo, ma anche nei momenti che vanno dalla produzione alla applicazione in cantiere dei materiali.

L'esigenza quindi, in un'etica di edilizia sostenibile, è quella di realizzare edifici salubri, che esprimano il più basso impatto ambientale possibile, coniugando alti livelli di comfort abitativo e minimo impiego di energia.

Il legno, come materiale da costruzione, riesce a soddisfare in maniera ottimale queste esigenze:

- ha un basso impatto ambientale nella fase di reperimento della materia prima e sua trasformazione
- con il legno si realizzano strutture che si prestano bene al raggiungimento di alte prestazioni in termini di comportamento strutturale e risparmio energetico
- le strutture di legno si accompagnano, normalmente, ad un basso inquinamento indoor ed a un notevole comfort abitativo interno.

La Regione Toscana ha fatto molto negli ultimi anni per diffondere la cultura dell'utilizzo di questo materiale nelle costruzioni attraverso molteplici iniziative volte a promuovere la nascita di una filiera di trasformazione del legno locale, in considerazione del fatto che con oltre un milione di ettari di bosco la Toscana è la Regione italiana con la maggiore estensione boschiva. Il primo e più importante passo in questa direzione è stata la pubblicazione delle "Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana" nel 2009.

Il presente volume rientra in questo programma di diffusione della cultura tecnica delle costruzioni e lo fa promuovendo la realizzazione, con il legno, di edifici a servizio delle strutture sportive.

Lo scopo di questo lavoro è molteplice:

- fornire una prima indicazione a tutti coloro, tecnici, amministratori, progettisti, gestori di impianti sportivi, i quali dovessero affrontare la valutazione di una nuova costruzione o riqualificazione di edifici a servizio di strutture sportive.

- arricchire l'importanza di queste tipologie costruttive che passano dall'essere "costruzioni a servizio di..." a edifici con una specifica missione funzionale e con un contenuto tecnico progettuale elevato.
- mettere a disposizione degli interessati gli strumenti per poter realizzare luoghi dove coniugare armoniosamente l'attività sportiva con un ambiente salubre ed energicamente poco impattante, in totale sintonia con l'adozione di stili di vita salutari e l'attenzione al benessere psico-fisico degli individui.

Già nel titolo della presente pubblicazione "Linee guida sugli edifici in legno di supporto alle associazioni sportive" è spiegata la finalità di questo lavoro, ossia non quella di scrivere un volume sulla progettazione degli impianti sportivi, le cui strutture (grandi coperture, tribune, palazzetti) vengono sovente realizzate con sistemi strutturali in legno, e per le quali esistono in letteratura svariati manuali e testi specifici che ne illustrano criteri di progettazione e casi studio, ma quella di fornire uno strumento, sperabilmente utile, per la progettazione e realizzazione di tutti quegli spazi di supporto alle attività sportive quali spogliatoi, servizi, locali per attività di primo soccorso e controllo antidoping, sedi di società sportive e spazi correlati, e soprattutto locali per ristoro, attività ricreative o commerciali (bar, ristoranti, club house, etc.) per le quali i sistemi costruttivi in legno per l'edilizia residenziale rappresentano la risposta ideale.

Tutto questo tenendo bene in considerazione un altro plus tipico delle strutture in legno, ossia quello economico.

10

Se è facile l'equazione bassi consumi energetici = basso costo di gestione, ancora più interessante è l'impegno economico in fase di progettazione e costruzione.

Il timore di chi si appropria a una tecnologia costruttiva che promette tanti ed ottimi risultati, è che la realizzazione di una struttura in legno possa essere assai più onerosa di una struttura in muratura.

La realtà è ben diversa. Infatti, non solo questi edifici hanno un costo paragonabile a quello degli edifici in muratura pur offrendo prestazioni più elevate, ma questa tecnologia porta con sé buone pratiche di progettazione e costruzione che contribuiscono ad ottimizzare il rapporto costi/benefici. L'alto livello di prefabbricazione obbliga il progettista ad una visione molto ampia che abbracci ed analizzi tutti gli aspetti legati alla tipologia di uso del fabbricato. Tipica della struttura in legno è la ricerca della massima integrazione tra tutte le fasi progettuali, poiché poche scelte possono essere rimandate alla fase di cantiere o demandate all'impresa costruttrice. Quindi in una progettazione dove si tende a definire tutti i particolari diventa scontato che con il medesimo investimento si riescono a raggiungere livelli qualitativi molto alti.

Questo approccio attento in fase progettuale porta vantaggi anche in termini di durabilità. Il legno è un materiale estremamente durevole, e di questa affermazione abbiamo testimonianza quotidiana nelle città e nelle campagne toscane, dove parti importanti, come tetti e solai, delle abitazioni storiche, delle chiese e degli edifici monumentali, sono realizzate in legno.

Le strutture di legno offrono notevoli vantaggi, in termini di leggerezza del materiale, praticità di impiego in cantiere e velocità di montaggio per tutti gli interventi di integrazione delle strutture esistenti con nuove porzioni in ampliamento o sopraelevazione, anche in relazione

ad una pratica che si sta affacciando timidamente sul mercato dell'edilizia in questi ultimi periodi e che trova nella costruzione in legno, la metodologia costruttiva ottimale: l'autocostruzione.

Questa tipologia di edifici, per l'alto livello di prefabbricazione, la progettazione estremamente particolareggiata, l'assenza di lavorazioni pericolose è quella che si presta meglio alla realizzazione in economia.

Le società sportive sono spesso rette dall'attività volontaristica degli associati e quindi, meglio di altri casi, si prestano ad esperienze di questo genere.

Con l'autocostruzione piccole e medie società potrebbero realizzare in autonomia, fabbricati complementari alle attività sportive o da destinare ad attività ricreative. Potrebbero quindi ottenere, con l'apporto fattivo degli associati, quello che altrimenti non avrebbero potuto concretizzare, se non a costo di pensanti impegni finanziari.

Legno e materiali naturali

1.1 LA GESTIONE FORESTALE SOSTENIBILE E LA REALTÀ FORESTALE DELLA REGIONE TOSCANA

Oggi, grazie alla maggiore consapevolezza delle questioni ambientali e socioeconomiche correlate, la sostenibilità è un principio verso cui si stanno orientando i processi di sviluppo e le programmazioni della maggior parte delle organizzazioni, sia di tipo sociale che commerciale.

Per questo motivo le politiche edilizie sia a livello internazionale che locale si stanno indirizzando verso questo obiettivo, attraverso la predisposizione di protocolli di certificazione ambientale ed energetica volti a determinare, mediante la definizione di una serie di criteri e dei relativi parametri di valutazione, il livello di sostenibilità delle costruzioni.

Tutto questo si traduce poi a livello di regolamenti edilizi locali in forme di incentivazione che possono andare da scomputi sugli oneri di urbanizzazione, a incrementi volumetrici o talvolta addirittura a contributi sui costi di costruzione, definite allo scopo di premiare la realizzazione di edifici energeticamente efficienti e con un basso impatto ambientale in termini di emissioni di gas clima-alteranti. Da questo punto di vista i materiali da costruzione naturali costituiscono sicuramente un'opportunità interessante di sviluppo per il mercato dell'edilizia.

Questo è il motivo per il quale si sta guardando con sempre maggiore interesse agli edifici in legno. Il legno è un materiale da costruzione che dal punto di vista della sostenibilità non ha eguali: la sua "produzione" è totalmente ecologica, provenendo da una fonte come gli alberi, il cui rinnovamento e riproducibilità sono determinati da una sorgente energetica pulita e sempre disponibile come l'energia solare. Inoltre il legno svolge un ruolo fondamentale nella lotta ai cambiamenti climatici, le foreste, producendo legno, riducono la quantità di anidride carbonica presente nell'atmosfera fissando il carbonio attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana; inoltre, l'utilizzazione e la trasformazione del legno in manufatti e prodotti da costruzione richiede un consumo sia in termini di energia che di emissioni di CO₂ molto minore rispetto ai processi di produzione e trasformazione di materiali quali il calcestruzzo, i mattoni, il vetro o l'acciaio.

Tutti questi motivi, insieme ai progressi effettuati dalla ricerca scientifica e tecnologica negli ultimi anni attraverso lo studio e lo sviluppo di nuovi sistemi costruttivi, hanno portato sia in Europa che nel nostro Paese ad un crescente impiego del legno in edilizia, e l'incremento più significativo si è avuto per il legno impiegato nella costruzione di elementi strutturali.

A fronte di questa crescente richiesta è naturale chiedersi se tutto ciò non contribuisca ad intaccare e a minacciare la sopravvivenza stessa delle foreste.

Per rispondere a questa domanda occorre analizzare prima di tutto i dati del patrimonio forestale in Italia.

Il bosco è una risorsa importantissima per il nostro Paese e nel corso degli anni sta assumendo un'importanza sempre maggiore anche in relazione alle molteplici e crescenti funzioni che riveste, da quella naturalistica e paesaggistica, a quella faunistica, alla funzione di protezione idrogeologica del nostro territorio (si pensi ai frequenti disastri causati anche recentemente da eventi meteorologici di eccezionale portata in zone nelle quali il bosco è stato in passato abbattuto indiscriminatamente per ottenere nuove aree edificabili), alla valenza economica e sociale.

Secondo i dati dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi di Carbonio (INFC 2005) in Italia i boschi ricoprono, con una estensione di 10.467.533 ha, circa il 29% della superficie totale, con una percentuale che cresce fino a circa il 35% se si considerano anche le altre terre boscate, ovvero principalmente gli arbusteti.

La Regione italiana con la più estesa copertura forestale è appunto la Toscana con 1.015.728 ha, seguita da Piemonte, Lombardia e Sardegna, mentre le Regioni con più alto coefficiente di boscosità sono la Liguria e il Trentino, con un grado di copertura percentuale rispettivamente di 62,6 e 60,5% seguite rispettivamente da Alto Adige, Toscana e Umbria.

Riguardo alla composizione del bosco a livello nazionale, oltre il 98% è rappresentato da boschi alti costituiti per circa il 68% da popolamenti a prevalenza di latifoglie.

Per quel che riguarda la proprietà, circa il 63% risulta di proprietà privata e il 32% di proprietà pubblica, mentre se si considera il solo bosco la percentuale di proprietà privata sale al 66%.

A livello nazionale l'81,3% della superficie forestale totale risulta disponibile al prelievo legnoso¹, considerando il solo bosco tale percentuale sale all'88,4%. Con 3.663.143 ha i cedui costituiscono circa il 42% dei boschi italiani.

Sempre a livello nazionale, l'incremento annuale complessivo della massa legnosa, 35 milioni di m³, è molto superiore alla quantità di massa utilizzata corrispondente a circa 10 milioni di m³ (MCPFE, 2007). Peraltro, ciò non va semplicisticamente interpretato deducendo che nel nostro Paese esista attualmente la possibilità di un aumento generalizzato dei prelievi legnosi; è auspicabile un incremento ma questo deve essere valutato localmente.

Riguardo agli utilizzi, la legna da ardere rimane la principale destinazione del materiale ritraibile dai nostri boschi rappresentando circa il 60% della produzione legnosa nazionale.

La Toscana risulta quindi da questi dati la prima Regione d'Italia per copertura forestale riferita ai soli boschi e la quarta per densità di boschi rispetto alla superficie totale, a sorpresa davanti a Regioni come Umbria, Valle d'Aosta o Piemonte che nell'immaginario collettivo sono sicuramente considerate tra le Regioni più verdi d'Italia. La quantità di legname presente nei boschi toscani è stimata intorno ai 123,5 milioni di m³, con un accrescimento annuo di quasi 5 milioni di m³ (circa il 4%). La quantità asportata ogni anno è in media pari a

¹ Secondo l'INFC 2005, "Per disponibile al prelievo si intende una superficie forestale non soggetta a limitazioni significative delle attività selvicolturali dovute a norme o vincoli (es. riserve integrali) o a cause di tipo fisico (aree inaccessibili). La FAO infatti considera come non disponibili al prelievo legnoso le foreste in cui i vincoli e le restrizioni derivanti dalla normativa in vigore o da decisioni politiche escludono o limitano severamente il prelievo per esigenze di tutela ambientale o di conservazione di siti di particolare interesse scientifico, storico, culturale o spirituale, così come le foreste in cui la produttività o il valore del legname sono troppo bassi per rendere conveniente il prelievo di legname, fatta eccezione per il taglio occasionale per consumo interno (FAO, 2000). Sono considerati disponibili perciò anche soprassuoli non più utilizzati da lungo tempo per abbandono della gestione, purché l'utilizzazione abbia ancora una certa convenienza economica, così come quelli trattati con tumi molto lunghi."

circa il 40% dell'incremento annuo, con il risultato che la risorsa ogni anno cresce ulteriormente.

L'utilizzo prevalente è ancora una volta come legna da ardere o biomassa per usi energetici e in piccola parte come paleria agricola, essendo in prevalenza il bosco costituito da cedui. Tuttavia nei boschi toscani sono presenti circa 40.000 ha di piantagioni di conifera, (abete, cedro, cipresso, douglasia, pino...) pari a circa il 4% della superficie boscata totale che, gestite in maniera sostenibile, producono legno di buone qualità meccaniche utilizzabile per usi strutturali.

A fronte quindi della enorme disponibilità di materia prima legno in Regione e dei grandi margini di possibile incremento del suo utilizzo, quali sono gli strumenti a disposizione per garantire la continuità della disponibilità futura di questa risorsa?

La risposta a questa domanda è rappresentata attualmente dalla gestione forestale sostenibile, ossia dalla possibilità di conciliare la tutela ambientale e la salvaguardia delle foreste con le esigenze di sviluppo economico e sociale di un determinato territorio. Il tutto naturalmente attraverso la definizione di una regola o di un complesso di regole definito da un organismo di certificazione indipendente che stabilisca dei criteri e degli indicatori di valutazione di tipo ambientale, sociale ed economico che variano a seconda del sistema prescelto e che preveda, al termine del processo il rilascio di un marchio ecologico che certifichi il soddisfacimento di tali requisiti e che costituisca anche una garanzia per il consumatore finale. Nella sua accezione generale pertanto la certificazione forestale è una dichiarazione con la quale una terza parte indipendente (Ente di Accreditamento) verifica ed attesta che la gestione da parte di una azienda o un ente pubblico di una determinata foresta risulti conforme ai requisiti (o standard) di una norma o una regola tecnica.

La certificazione può affrontare due diverse problematiche:

- la gestione forestale, partendo dalla pianificazione per arrivare al taglio e alla distribuzione del legname considerando gli impatti di carattere ambientale, sociale ed economico di tale processo. Naturalmente uno dei principi cardine della gestione forestale in relazione alle funzioni produttive è che il livello quantitativo di utilizzazione dei prodotti forestali, sia legnosi che non-legnosi, non deve eccedere la quota prelevabile con continuità nel lungo periodo e non deve danneggiare le capacità di rinnovazione e reintegro naturale dei prodotti stessi;
- la rintracciabilità dei prodotti certificati o catena di custodia (chain of custody) che serve a garantire che il legno provenga da foreste gestite in maniera sostenibile e che deve consentire di risalire a tutti i vari passaggi dalla foresta al consumatore finale.

La prima interessa prevalentemente i proprietari e gestori forestali (anche riuniti in associazioni); la seconda riguarda soprattutto le industrie di trasformazione che devono documentare il corretto passaggio del legname certificato dalla foresta al consumatore.

Nello specifico la gestione forestale sostenibile persegue i seguenti obiettivi:

- assicurare che attraverso la corretta gestione ambientale della foresta, il taglio dei prodotti legnosi e non legnosi non pregiudichi la biodiversità, la produttività e i processi ecologici in atto;

- garantire una gestione socialmente corretta della foresta in modo che la popolazione locale e più in generale la società possano goderne i benefici a lungo termine e inoltre fare sì che la stessa popolazione locale sia incentivata a sostenere la risorsa forestale attraverso dei piani di gestione e mantenimento a lungo termine;
- infine garantire una gestione economicamente sostenibile della foresta ossia controllare che le operazioni forestali siano strutturate e organizzate in modo da generare un livello di profitto sufficiente a garantire la sopravvivenza economica e tale da far sì che le risorse, l'ecosistema e le comunità locali della foresta non vengano indebitamente sfruttate a causa dei profitti finanziari.

A livello internazionale, i protocolli di certificazione più noti ed applicati sono i seguenti:

• **FSC (Forest Stewardship Council)**

È una ONG internazionale fondata nel 1993 e operante in più di 50 paesi, indipendente e senza scopo di lucro, che include tra i suoi membri consorzi e comunità locali, proprietari forestali, industrie che lavorano e commerciano il legno, scienziati e tecnici che operano insieme per migliorare la gestione delle foreste in tutto il mondo.

La certificazione forestale FSC si basa su dieci principi generali, ognuno poi suddiviso in criteri di valutazione e si applica sia alle foreste tropicali, boreali e temperate. In generale la certificazione FSC si occupa dei seguenti aspetti:

- Controllo legale;
- Dimostrazione dei diritti di mantenimento e gestione della foresta;
- Rispetto dei diritti dei lavoratori e della popolazione indigena;
- Utilizzo equo e solidale dei benefici ottenuti;
- Riduzione dell'impatto ambientale delle operazioni di taglio;
- Identificazione e appropriata gestione delle aree protette (es. siti di importanza religiosa, aree in cui vivono specie animali protette).

La superficie forestale certificata FSC fino al Maggio del 2011 è pari a circa 143 milioni di ettari con più di 1.000 certificazioni congiunte di gestione sostenibile e della catena di custodia e oltre 20.000 certificazioni della sola catena di custodia (www.fsc.org).

• **PEFC (Pan-European Forest Certification)**

È un protocollo di certificazione nato dall'iniziativa di 13 paesi europei, come alternativa all'FSC, per la gestione di foreste di piccole-medie dimensioni per le quali lo schema di certificazione FSC non era ritenuto adeguato, e successivamente diffusosi a livello mondiale. Attualmente i membri ordinari sono 14 più altre 5 organizzazioni internazionali che supportano il sistema PEFC, in veste di membri straordinari.

La superficie forestale certificata PEFC fino al Maggio del 2011 è pari a circa 232 milioni di ettari con più di 483.000 certificazioni forestali e quasi 8.000 certificazioni della sola catena di custodia (www.pefc.org).

La Regione Toscana ha aderito ad entrambi i protocolli di certificazione ed è stata tra le prime Regioni italiane ad avere foreste certificate all'interno del proprio territorio, come ad esempio il Consorzio Forestale dell'Amiata che ha certificato 3.000 ha di foresta PEFC dal 2003 o la Comunità Montana delle Colline Metallifere di Grosseto che ha in corso la prima esperienza di certificazione congiunta FSC/PEFC oltre alle 14 aziende toscane che hanno già ottenuto certificazioni FSC di catena di custodia.

Le foreste rappresentano pertanto un patrimonio di particolare rilevanza per la Regione Toscana con circa 8.000 persone impiegate nel settore, che la Regione stessa gestisce e preserva grazie al Programma forestale regionale che stanziava, nel periodo 2007-2011, oltre 150 milioni di euro (31 milioni per il 2007 e oltre 30 milioni per ciascuno degli anni successivi).

Ma l'investimento in questo settore non si limita ai soli finanziamenti, peraltro indispensabili, ma anche ad iniziative concrete volte a incentivare il mercato dell'edilizia in legno e a creare una vera e propria filiera del legno toscano.

La prima di queste iniziative è stata la pubblicazione nel 2009 di un manuale di 300 pagine suddivise in 5 capitoli, sulla progettazione di edifici in legno rivolto a progettisti, tecnici delle pubbliche amministrazioni e operatori del settore. Il manuale, liberamente fruibile e scaricabile dal sito web della Regione Toscana, contiene informazioni dettagliate sui diversi sistemi costruttivi esistenti, i riferimenti normativi e i criteri di progettazione in relazione ai diversi aspetti relativi alla progettazione di edifici da quelli architettonici a quelli strutturali a quelli energetici e impiantistici. Parallelamente la Regione ha investito 400.000 euro per un bando, pubblicato nel 2010, sulla formazione di imprese ed operatori nel settore che interessi tutti gli attori della filiera, dai proprietari dei boschi fino alle imprese di costruzione.

Sempre nel 2009, su iniziativa di Casa SPA, l'ente che progetta, gestisce e mantiene tutto il patrimonio di edilizia pubblica di Firenze e di 33 comuni dell'area fiorentina, è nato un progetto per la costruzione a Firenze, nel quartiere di Gavinana, di tre edifici di cui due a destinazione residenziale, di 6 e 4 piani destinati ad ospitare complessivamente 45 alloggi e uno di due piani destinato ad ospitare una ludoteca ed alcuni servizi di quartiere, da realizzarsi interamente a struttura di legno.



Figura 1.1: Vista prospettica dell'edificio di 6 piani di edilizia residenziale pubblica da realizzare a Firenze, in Viale Giannotti.

Parallelamente a questo progetto vari operatori del settore (proprietari di boschi, segherie, imprese di trasformazione, imprese di carpenteria e montaggio e una società di ingegneria), sfruttando l'occasione data da uno specifico bando di ricerca e sviluppo della Regione Toscana con finanziamenti europei per progetti di aggregazione di imprese nel settore ambientale con finanziamenti in cont capitale, si sono consorziate per creare uno stabilimento pilota di produzione di pannelli strutturali realizzati con legno toscano che, attraverso una apposita convenzione con Casa SPA, si stanno utilizzando nella realizzazione

dei tre edifici. Proprio in questi giorni (Maggio 2011) è terminato il montaggio delle strutture del primo dei tre edifici, la ludoteca di due piani, interamente realizzato con pannelli strutturali di legno di douglasia toscana proveniente da due diverse località della Provincia di Firenze e di Pistoia.



Figura 1.2: Edificio di due piani a Firenze destinato ad ospitare una ludoteca, interamente realizzato con pannelli strutturali di legno toscano.

1.2 NOZIONI FONDAMENTALI DI TECNOLOGIA DEL LEGNO

Progettare, in particolar modo nel caso delle strutture di legno, significa utilizzare al meglio i materiali e le tecnologie al fine di ottenere un'opera durevole, sicura ed economica.

La durabilità è strettamente legata con la natura del materiale che è biodegradabile, questo però non significa che le strutture di legno siano meno durabili di quelle costruite utilizzando altri materiali; esistono esempi di costruzioni in legno che hanno superato i mille anni (le chiese norvegesi, le pagode giapponesi, ecc.), basta alzare gli occhi nelle nostre chiese antiche per vedere coperture di legno che, se sono state preservate dall'umidità, sono in perfetto stato di conservazione da centinaia di anni.

Il legno deriva dal tronco che in natura aveva la funzione di sostenere la chioma, il tronco quindi era sottoposto a sforzo normale e flessione, per tale motivo il legno ha una direzione di massima resistenza e rigidità che è quella longitudinale, verticale nella pianta in piedi, mostrando uno spiccato comportamento anisotropo; pertanto le caratteristiche meccaniche sono fortemente diverse nelle varie dimensioni.

Il legno è un materiale igroscopico, alle variazioni di umidità del legno corrispondono variazioni dimensionali piuttosto spiccate che vanno considerate nella progettazione in quanto il legno è in continuo movimento.

Essendo materiale derivato dall'albero, il legno conserva le peculiarità dell'albero stesso. Ad esempio i nodi che sono la naturale traccia dei rami nel tronco ai fini della resistenza meccanica del segato sono un difetto che ne diminuisce la resistenza e rigidità.

Per questi motivi e per altri che verranno detti in seguito, la progettazione delle strutture di legno non può prescindere dalle conoscenze di base di tecnologia del legno.

1.3.1 CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE DEL LEGNO

Le specie legnose maggiormente utilizzate nelle strutture sono:

- Conifere: Abete (rosso e bianco), pino, larice, douglasia.
- Latifoglie: quercia (fania, rovere, cerro, roverella), castagno, pioppo.

Il pioppo, pur essendo una latifolia, tecnologicamente è molto simile alle conifere, pertanto viene associato alle conifere.

In un tronco di legno possono individuarsi tre direzioni anatomiche, quella longitudinale è quella dell'asse del tronco, corrispondente all'orientazione generale delle cellule. Le direzioni radiale e tangenziale sono invece riferite agli anelli annuali di accrescimento.

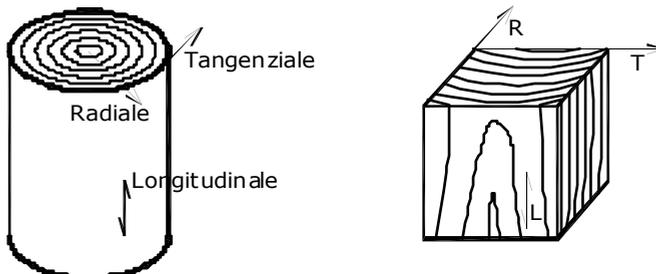


Figura 1.3: Direzioni anatomiche del legno.

Le direzioni anatomiche R e T variano da punto a punto all'interno del tronco, tuttavia in un segato è generalmente possibile individuare un lato circa radiale ed uno circa tangenziale.

Relazioni legno-acqua

Il legno è un materiale igroscopico, assorbe e cede umidità dall'ambiente.

Essendo formato da cellule vuote e allungate, queste possono contenere acqua in diverse forme:

- acqua di saturazione: è quella che bagna le pareti cellulari, si riscontra per umidità del legno (espresse in percentuale sul peso secco) comprese fra lo 0% ed il 30% circa;
- acqua libera: è quella contenuta nel lume cellulare, per umidità superiori al 30%.

Esiste poi l'acqua di costituzione che fa parte della parete cellulare stessa ma in questo contesto non riveste importanza tecnologica in quanto viene persa solo per distruzione della cellula stessa.

In Figura 1.4 è rappresentato schematicamente un ingrandimento in cui si vedono le cellule del legno.

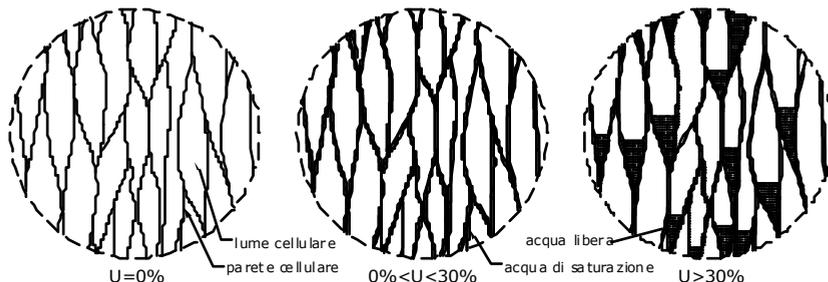


Figura 1.4: Diversi tipi di acqua contenute all'interno delle cellule che compongono il tessuto legnoso.

Al momento dell'abbattimento il legno ha un contenuto di umidità molto superiore al 30%, successivamente, con il processo di stagionatura, il legno perde umidità fino ad un valore variabile in funzione dell'ambiente in cui si trova:

- $U < 12\%$ in ambienti chiusi, riscaldati in inverno;
- $12\% < U < 20\%$ in ambienti chiusi non riscaldati di inverno ed in ambienti aperti ma al coperto;
- $U > 20\%$ all'aperto, senza protezione dalle intemperie.

A seguito della perdita di umidità il legno subisce diminuzione delle dimensioni (ritiro); il fenomeno è reversibile e pertanto all'aumentare dell'umidità il legno aumenta le proprie dimensioni (rigonfiamento).

A titolo di esempio il legno di conifera subisce i seguenti ritiri e rigonfiamenti per ogni punto percentuale di umidità (coefficienti di ritiro e rigonfiamento per il legno di conifera):

- in direzione longitudinale 0,01%
- in direzione radiale 0,12%
- in direzione tangenziale 0,24%

Ad esempio un cubetto di legno di lato 200mm passando dal $U=30\%$ a $U=10\%$ perde:

- in direzione longitudinale $200 \times 0,01 \times (30-10)/100 = 0,4\text{mm}$ diventando 199,6mm
- in direzione radiale $200 \times 0,12 \times (30-10)/100 = 4,8\text{mm}$ diventando 195,2mm

• in direzione tangenziale $200 \times 0,24 \times (30-10) / 100 = 9,6 \text{ mm}$ diventando $190,4 \text{ mm}$
Per il legno di latifolia di quercia si hanno i seguenti coefficienti di ritiro e rigonfiamento:

- in direzione longitudinale $0,01\%$
- in direzione radiale $0,20\%$
- in direzione tangenziale $0,40\%$

È importante osservare che il fenomeno del ritiro e rigonfiamento si ha solo nel campo di umidità compreso fra lo 0% ed il punto di saturazione delle pareti cellulari ($U=30\%$); per valori superiori ad $U=30\%$ il legno non si ritira e non si rigonfia.



Figura 1.5: L'umidità del legno si può misurare in cantiere per mezzo degli igrometri elettrici, apparecchi che misurano la resistenza elettrica fra due elettrodi (chiodi) infissi nel legno la quale è correlata con l'umidità del legno.

Le fessure da ritiro

Essendo il ritiro tangenziale maggiore di quello radiale, alla perdita di umidità corrisponde una diminuzione del diametro del tronco ed una distorsione della sezione in quanto il ritiro dell'anello è circa doppio rispetto al ritiro del raggio; si formano le fessure da ritiro, una principale ampia che va dal centro del tronco (midollo) alla corteccia ed eventualmente altre di minor entità ma sempre tutte radiali.

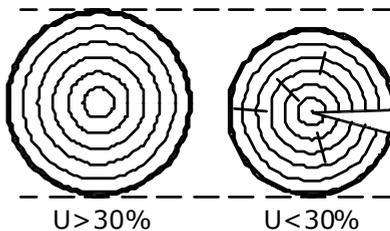


Figura 1.6: Le fessure da ritiro si formano, nel legno contenente il midollo, a causa del fatto che il ritiro tangenziale è circa il doppio del ritiro radiale.

Se la stagionatura avviene dopo la squadratura del tronco, come è giusto che si faccia, la trave si distorcerà e formerà le fessure da ritiro in maniera diversa se contiene o meno il centro del tronco.

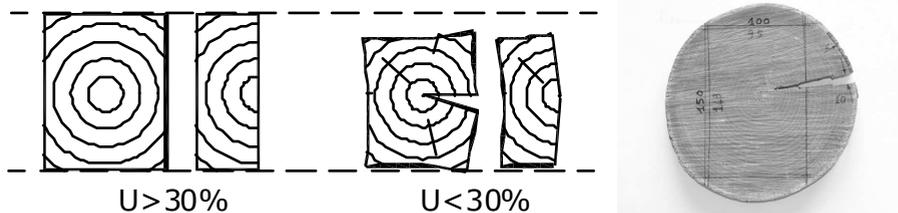


Figura 1.7: Distorsioni dovute al ritiro per travi contenenti o meno il midollo.

Dunque solo le sezioni ricavate senza includere il centro del tronco (cosiddette "fuori cuore") non formeranno la fessura principale da ritiro ma subiranno solo una distorsione.

E' chiaro che la trave può essere nuovamente squadrata dopo la stagionatura ma, visto che la stagionatura necessita di alcuni anni, il legno viene quasi sempre commercializzato e messo in opera fresco, pertanto la diminuzione di sezione, distorsione e fessurazione avviene quasi sempre in opera.

Le fessure da ritiro seguono la fibratura e pertanto ne denunciano l'inclinazione rispetto all'asse della trave; l'inclinazione si esprime in percentuale.



Figura 1.8: Misurazione dell'inclinazione di fibratura su una trave.

Generalmente compaiono su di una sola faccia della trave e sono concentrate nella mezzeria di una delle facce più grandi.

Chiaramente una trave di legno fresco (cioè ad umidità superiore al 30%) non mostra le fessure da ritiro.

Meccanicamente le fessure da ritiro sono indebolimento solo nei confronti della resistenza a taglio della sezione, tuttavia i valori meccanici di resistenza a taglio dati per le varie classi di resistenza sono valori convenzionalmente ridotti per consentire di condurre le verifiche strutturali sulla sezione non fessurata salvaguardando la sicurezza.

Le fessure da ritiro sono un fatto fisiologico che generalmente non deve destare preoccupazione, tuttavia in alcuni casi diventano strutturalmente intollerabili, ad esempio quando la trave è affetta da fessure su due facce e queste si incontrano dividendo in due la sezione oppure quando queste passano lo spigolo determinando una vera e propria rottura come nella foto seguente.



Figura 1.9: Trave con fessura che attraversa lo spigolo.

Alburno e durame

Il tronco è formato da una parte centrale detto durame che, durante la vita dell'albero, è legno messo a riposo e conserva la sola funzione portante per la pianta; in esso vengono depositate le sostanze estrattive quali i tannini che generalmente conferiscono al legno una colorazione più scura e lo rendono anche più resistente agli attacchi biologici.

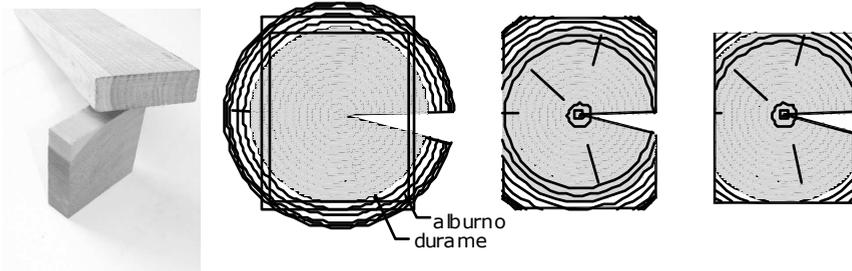


Figura 1.10: A sinistra: elementi di larice in cui è visibile nettamente la distinzione fra durame (parte scura) e alburno (parte chiara). A destra: distinzione fra durame e alburno nella sezione di un tronco. L'alburno è più presente nelle sezioni a spigolo smussato (uso Fiume o uso Trieste) rispetto a quelle a spigolo vivo.

Gli anelli più periferici formano l'alburno che nella pianta in piedi è legno che conduce la linfa; generalmente è di colore più chiaro rispetto al durame e dopo l'abbattimento, a differenza del durame, conserva alcune sostanze quali gli amidi e gli zuccheri.

Le caratteristiche meccaniche dell'alburno e del durame sono simili fra loro, le caratteristiche di durabilità invece sono spesso nettamente diverse come si vedrà in seguito.

Alcune specie legnose, dette a durame indifferenziato come l'abete, hanno il durame povero di estrattivi, infatti è bianco come l'alburno.

1.3.2 BIODEGRADAMENTO, DURABILITÀ E PRESERVAZIONE

Il legno ha l'indubbio vantaggio di essere un materiale totalmente biodegradabile, questo però non significa che sicuramente si degraderà nel tempo. Il degrado biologico ad opera di funghi della carie ed insetti xilofagi avviene solo in certe condizioni, inoltre esistono specie legnose più o meno resistenti all'attacco biologico e parti del tronco maggiormente degradabili.

Se il legno si degrada non è colpa del legno ma del progettista: la scelta della specie legnosa in funzione dell'ambiente in cui l'elemento verrà messo in opera, l'eventuale trattamento preservante, i dettagli costruttivi, la protezione dall'umidità rendono il legno materiale eterno. Il legno non subisce alcun degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche semplicemente dovuto al passare del tempo.

Dal punto di vista della durabilità non fa differenza che il legno sia massiccio o lamellare; il legno lamellare è solo un po' meno suscettibile all'attacco da insetti come si vedrà in seguito.

La diagnosi dello stato di degrado delle strutture in opera fa parte della Tecnologia del Legno ed è materia del Dottore in Scienze Forestali.

Il degrado da funghi della carie

I funghi della carie si diffondono nell'aria attraverso le spore, le spore sul legno germinano se questo supera il 20% di umidità; i funghi si diffondono nella massa legnosa attraverso le ife e non necessariamente danno origine al corpo fruttifero visibile; le ife degradano chimicamente il legno (la lignina o la cellulosa o entrambe) determinando una forte diminuzione di resistenza del materiale anche nei primi stadi dell'attacco quando questo non è ancora visibile e non ha ancora dato luogo al fenomeno più macroscopico della marcescenza.

L'attacco fungino avanza fintanto che permangono condizioni di umidità favorevoli; non appena l'umidità del legno ritorna a valori inferiori al 20% il fungo cessa la sua attività, tuttavia il danno causato rimane e se l'umidità del legno ritorna ad essere elevata il fungo riprende la sua attività.

Spesso l'attacco fungino avviene all'interno degli elementi lignei senza manifestazioni all'esterno in quanto, in condizioni di umidità favorevoli all'attacco, la superficie del legno è più asciutta e quindi si preserva dall'attacco.

Le zone maggiormente soggette ad attacco fungino sono le parti conglobate nelle murature (o nei cordoli), ciò per vari motivi: il legno non è ventilato e un aumento di umidità non riesce ad essere smaltito, la muratura favorisce la permanenza di condizioni umide, l'umidità propria del legno condensa in corrispondenza del muro esterno freddo ed il legno si bagna fungendo da "pompa" che capta l'umidità dell'aria degli ambienti interni e la condensa in testata.

Per i motivi anzi detti l'attacco fungino è molto pericoloso.

Sia l'albumo che il durame sono soggetti ad attacco fungino, tuttavia esistono specie legnose, quali il castagno e le querce, il cui durame è più resistente rispetto alle altre specie legnose.

Il degrado da insetti xilofagi

Gli insetti che attaccano il legno sono di varie famiglie e pertanto hanno ciclo vitale diverso.

Il ciclo di vita di un insetto (ad eccezione delle termiti) parte dalla deposizione delle uova da parte di un insetto adulto (farfalla) su piccole cavità o fessure del legno. L'uovo si schiude e dà vita alla larva che penetra nella massa legnosa mangiandola e scavando gallerie.

La larva può vivere e lavorare nel legno anche alcuni anni.

Poi si trasforma in insetto perfetto (con le ali) ed abbandona il legno forandone la superficie, si accoppia e depone le uova dando origine ad un nuovo ciclo vitale.

Il legno lamellare è meno suscettibile agli attacchi degli insetti rispetto al legno massiccio, poiché ha molte meno fessure rispetto al legno massiccio, per questo motivo l'insetto adulto ha difficoltà a deporre in esso le uova. Qualora il legno lamellare venga attaccato la larva non riesce a passare le superfici incollate e pertanto resta all'interno della singola tavola. Per

questi motivi generalmente gli attacchi da insetti nelle travi di legno lamellare sono spesso piuttosto limitati.

È importante osservare che i fori che si riscontrano sulla superficie non sono fori di ingresso ma di uscita ovvero *fori di sfarfallamento* e pertanto la loro quantità non ci fornisce indicazioni sull'entità dell'attacco in corso.

Generalmente gli insetti mangiano la sola parte periferica del tronco, l'alburno, essendo questo più ricco di sostanze a loro gradite come gli amidi e gli zuccheri.

Il durame, se differenziato come nella quercia e nel castagno, è molto resistente all'attacco perché ricco di sostanze estrattive (tannini) che lo rendono sgradevole agli insetti.

Fanno eccezione le specie a durame non differenziato come l'abete che hanno il durame povero di estrattivi e pertanto vengono attaccate principalmente nell'alburno ma anche nel durame.

Gli amidi e gli zuccheri contenuti nel legno col tempo tendono a trasformarsi rendendo il materiale non più appetibile agli insetti e, superati gli 80-100 anni dall'abbattimento, il legno diventa praticamente immune all'attacco da parte della maggior parte delle famiglie di insetti xilofagi che attaccano il legno in opera. Pertanto generalmente le strutture antiche non hanno attacchi di insetti in corso ma eventualmente pregressi e non hanno bisogno di trattamenti preservanti.

Preservazione

Il legno è un materiale impermeabile (con esso si fanno le botti, le scandole che si utilizzano in alternativa alle tegole), si bagna ma difficilmente si riesce a far penetrare in profondità una sostanza liquida.

Questa caratteristica del legno costituisce un grosso limite per quel che riguarda l'applicazione dei trattamenti preservanti

Esistono tuttavia alcune specie legnose, come il pino, che hanno una scarsa durabilità naturale ma che risultano permeabili alle sostanze preservanti.

I trattamenti possono essere *preventivi* o *curativi*.

Trattamenti preventivi

I trattamenti preventivi si fanno generalmente in stabilimento mediante impregnazione (per le specie impregnabili come il pino) o superficiali a pennello per le specie legnose non impregnabili (come l'abete).

I trattamenti superficiali contro gli insetti generalmente sono a base di sostanze quali la permetrina o sali di boro, riescono a penetrare solo di qualche millimetro, tuttavia tale penetrazione è sufficiente ad ammazzare la larva appena nasce in quanto l'uovo generalmente è posato in prossimità della superficie del legno. Qualora il trattamento venga fatto su legno fresco non ancora o poco fessurato, le fessure da ritiro che si apriranno dopo il trattamento risulteranno non protette e quindi ottimo luogo per l'insetto adulto per deporre le uova; il trattamento quindi deve essere ripetuto dopo l'apertura delle fessure proprio in corrispondenza di queste. Il trattamento ha comunque efficacia limitata nel tempo, pertanto ogni circa 10 anni dovrebbe essere ripetuto.

I trattamenti superficiali contro i funghi della carie hanno il solo effetto di ritardare l'attacco fungino ma sicuramente non rendono il legno immune dal degrado specie in ambienti molto umidi o a contatto col terreno.

I trattamenti profondi, efficaci sia contro i funghi che gli insetti, si conferiscono in autoclave per immersione mediante cicli di vuoto e pressione al termine dei quali si ottiene un materiale impregnato con le sostanze preservanti anche in profondità. È il caso dei pali per linee aeree o degli arredi da giardino, spesso realizzati con pino impregnato in autoclave, che resistono per alcune decine di anni a contatto col terreno, cioè in classe di rischio elevata.

Trattamenti curativi

Contro gli attacchi da insetti in corso esistono trattamenti con gas velenosi o con le atmosfere modificate ai quali si ricorre solo in casi eccezionali essendo molto costosi e difficoltosi da utilizzare. Si possono utilizzare i trattamenti a pennello o con gel che impediscono la formazione di nuove larve, tuttavia le larve già all'interno del legno continueranno a lavorare fino allo sfarfallamento.

Contro l'attacco da funghi della carie l'unico intervento risolutivo è la rimozione della causa dell'umidità; un eventuale trattamento a pennello non ha grande efficacia se continuano a permanere le condizioni di umidità elevata.

Dopo aver bloccato il degrado e rimosse le cause andrà valutata la necessità di intervenire con interventi di consolidamento.

I trattamenti profondi, efficaci sia contro i funghi che gli insetti, si conferiscono in autoclave per immersione mediante cicli di vuoto e pressione al termine dei quali si ottiene un materiale impregnato con le sostanze preservanti anche in profondità. È il caso dei pali per linee aeree o degli arredi da giardino, spesso realizzati con pino impregnato in autoclave, che resistono per alcune decine di anni a contatto col terreno, cioè in classe di rischio elevata.

La durabilità naturale

Come visto in precedenza, in linea generale si può affermare che:

- l'alburno di tutte le specie è poco durabile sia nei confronti dei funghi che insetti; nel castagno lo strato di alburno periferico generalmente è inferiore al centimetro, nel larice, pino e nelle querce di alcuni centimetri, pertanto il castagno una volta squadrato perde pressoché totalmente l'alburno, il larice, pino e le querce continuano a conservarne importanti quantità almeno sugli spigoli;
- con riferimento al solo durame le specie legnose maggiormente durabili sia nei confronti dei funghi che degli insetti sono: querce, robinia, castagno, larice;
- le specie moderatamente durabili sono: douglasia, pino silvestre;
- le specie poco durabili sono: abete (rosso e bianco), pioppo.

Per una trattazione completa dell'argomento si faccia riferimento alla norma EN350.

1.3 LEGNO MASSICCIO, LAMELLARE, PANNELLI E PRODOTTI A BASE DI LEGNO PER USO STRUTTURALE

I prodotti strutturali a base di legno sono diversi per dimensioni, tipologia e applicazioni strutturali e vanno dagli elementi di legno massiccio, ottenibili direttamente dall'albero per squadratura dei tronchi, agli elementi incollati a sezione intera, a due-tre lamelle, al legno lamellare incollato e infine ai pannelli a base di legno di vari spessori. Si riportano in questo paragrafo solamente i prodotti strutturali utili ai fini della presente pubblicazione.

Tutti hanno delle regole di qualificazione ben precise contenute all'interno di apposite norme di prodotto o, in loro assenza, di benessere tecnici europei.

1.3.1 LEGNO MASSICCIO, LEGNO GIUNTATO A 2-3 LAMELLE E A SEZIONE INTERA, TRAVI USO FIUME E USO TRIESTE

Legno massiccio

È ottenuto direttamente dai tronchi degli alberi per squadratura, essiccazione ed eventualmente piallatura. Le dimensioni massime sono naturalmente determinate dalle dimensioni dei tronchi degli alberi in funzione della tipologia di elemento da ricavare; dai tronchi migliori, come qualità e dimensioni, vengono ricavate le travi squadrate o con tolleranze di smusso o conicità (uso Fiume e uso Trieste), da quelli di dimensione e qualità intermedia gli elementi strutturali secondari (travetti, morali e tavoloni) e infine da quelli più piccoli e tavole di dimensioni minori usate o come tali o per la produzione di elementi incollati. Le lunghezze medie vanno dai 4 ai 6 m fino ad un massimo di 8 m, raramente si ottengono elementi di lunghezze maggiori fino ai 12-14 m, misura che non viene superata per esigenze di trasporto. Le sezioni hanno una dimensione media di 24-26 cm, raramente si arriva a sezioni maggiori fino ad un massimo di 40 cm.

Una classificazione degli elementi ottenibili per legno massiccio di conifera è riportato in Tabella 1.1 (da [1]):

Tipo	Spessore d e/o altezza h	Larghezza b
listello	$d \leq 40\text{mm}$	$b < 80\text{mm}$
tavola	$d \leq 40\text{mm}$	$b \geq 80\text{mm}$
tavolone	$d > 40\text{mm}$	$b > 3d$
trave	$b \leq h \leq 3b$	$b > 40\text{mm}$

Tabella 1.1: Dimensioni standard dei segati di conifera (da [1])

La produzione di elementi strutturali di legno massiccio dovrà essere conforme alla Norma Europea Armonizzata per la classificazione del legno massiccio, la UNI EN 14081, sulla base della quale deve essere basata la procedura di marcatura CE che diventerà obbligatoria per ogni elemento dal Dicembre 2011. Attualmente per il legno di provenienza italiana può essere applicata la norma UNI 11035. In alternativa alla marcatura CE e fino al Dicembre 2011, in base ai requisiti di qualificazione stabiliti al paragrafo 11.7 delle NTC 2008, gli elementi di legno strutturale devono essere forniti da un fornitore qualificato e in possesso di attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale come produttore e come centro di lavorazione se effettua delle lavorazioni su elementi già qualificati che ne richiedano la

Capitolo 1: Legno e materiali naturali

riqualificazione (ovvero che superino i limiti di 5 mm per sezioni minori o uguali ai 100 mm e 10 mm per sezioni superiori ai 100 mm).

Tutti gli elementi strutturali di legno massiccio, già lavorati fino alle dimensioni d'uso, devono essere classificati secondo la resistenza, prima della loro messa in opera, sulla base delle specifiche contenute nelle norme di cui sopra, al fine di assegnare al materiale una classe di resistenza attraverso la definizione di un profilo resistente.

Per la definizione delle classi di resistenza e dei profili resistenti unificati a livello europeo, si deve fare riferimento alle norme UNI EN 338 ed UNI EN 1912, per legno di provenienza estera, ed UNI 11035 parti 1 e 2 per legno di provenienza italiana.

Per le specie di più frequente impiego in edilizia si riporta la tabella tratta da [1] in cui sono riportate le caratteristiche più importanti.

ABETE BIANCO (<i>Abies alba</i>)	E: Silver Fir; D: Tanne; F: Sapin
CARATTERISTICHE. Durame e albumo non differenziati, colore biancastro o giallognolo opaco, anelli di accrescimento ben distinti, passaggio piuttosto brusco tra la zona primaticcia e la zona tardiva dell'anello, canali resiniferi assenti, tessitura da media a fine. Nodi grossi e duri. Non impregnabile.	
IMPIEGHI: Legno leggero, usato prevalentemente per strutture, falegnameria corrente e imballaggi. Un tempo era preferito per la realizzazione degli alberi da nave, data la regolarità del fusto, le cospicue dimensioni raggiungibili e la favorevole combinazione tra leggerezza, resistenza (a flessione soprattutto) ed elasticità.	

28

ABETE ROSSO (<i>Picea abies</i>)	E: Spruce; D: Fichte; F: Epicea
CARATTERISTICHE. Durame e albumo non differenziati, colore biancastro o giallognolo debolmente lucido soprattutto sulle superfici radiali, anelli di accrescimento ben distinti, transizione graduale tra zona primaticcia e tardiva, canali resiniferi presenti ma poco visibili ad occhio nudo (talvolta la resina si raccoglie in vere e proprie "tasche" inframmezzate al tessuto legnoso), tessitura da fine a media. Non impregnabile.	
IMPIEGHI: Legno leggero, usato prevalentemente per strutture, massiccio e lamellare, falegnameria corrente, strumenti musicali ed imballaggi. Viene normalmente preferito all'abete bianco per gli impieghi dove una migliore stabilità dimensionale è necessaria (travi massicce di sezioni elevate, serramenti).	

LARICE (<i>Larix decidua</i>)	E: Larch; D: Larche; F: Melèze
CARATTERISTICHE. Albumo di colore biancastro o giallognolo di piccolo spessore, nettamente differenziato dal durame di colore rosso, bruno rossastro o porporino molto ampio, anelli di accrescimento ben distinti con zona tardiva ben marcata, passaggio brusco tra zona primaticcia e tardiva, canali resiniferi presenti e abbastanza ben visibili ad occhio nudo, tessitura fine. Fibratura frequentemente inclinata, con tendenza alle deformazioni più marcata rispetto agli abeti. Durabilità naturale superiore al legno di abete.	
IMPIEGHI: Legno mediamente pesante, usato per strutture (edili, navali e idrauliche) e falegnameria in genere (mobili, pavimenti, rivestimenti, infissi e serramenti). E' particolarmente apprezzato in ragione del suo aspetto estetico, appariscente e gradevole. Per la sua durabilità è impiegato anche per strutture esposte in ambiente umido, oppure all'esterno (coperture) ma non a contatto con il terreno.	

PINO (<i>Pinus spp.</i>)	E: Pine; D: Kiefer; F: Pin
<p>CARATTERISTICHE. Largo albumo giallognolo-biancastro nettamente differenziato dal durame roseo o bruno-rossastro chiaro, anelli di accrescimento ben distinti, transizione abbastanza brusca tra zona primaticcia e tardiva, canali resiniferi presenti e ben visibili ad occhio nudo, tessitura media. Nodi grandi, duri. La facilità di impregnazione dell'albumo lo rende adatto per questo trattamento, ove necessario (ad es. per impieghi a contatto col terreno).</p>	
<p>IMPIEGHI: Legno mediamente pesante ma tenero, albumo poco durabile ma facile da impregnare con sali, è assai diffuso in questa forma per gli impieghi in esterni (ad es. arredo urbano). Le provenienze Scandinave sono note per la regolarità di accrescimento e la buona stabilità dimensionale. Usato per strutture, infissi e falegnameria corrente.</p>	
DOUGLASIA (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	E: Douglas Fir D: Douglasie; F: Douglas Vert
<p>CARATTERISTICHE. Largo albumo biancastro giallognolo nettamente differenziato dal durame rosa salmone, anelli di accrescimento ben marcati, canali resiniferi presenti, tessitura media- fine. Durame moderatamente durabile (classe 3 EN 350).</p>	
<p>IMPIEGHI: Legno di facile lavorazione, essicca bene con poche deformazioni. Quello importato dall'America settentrionale è ideale per gli infissi, ottimo comunque per usi strutturali sia massiccio che incollato. Utilizzato anche per barriere di sicurezza stradale sottoforma di elementi lamellari.</p>	
CASTAGNO (<i>Castanea sativa</i>)	E: Chestnut; D: Kastanie; F: Chataigner
<p>CARATTERISTICHE. Albumo sottile di colore biancastro-giallognolo, ben differenziato dal durame di colore bruno più o meno intenso, talora con variegature più scure; anelli ben distinti, con grossi vasi ben visibili ad occhio nudo e vasi piccoli disposti in linee (fiamme) radiali più o meno oblique; raggi parenchimatici non visibili ad occhio nudo; tessitura grossolana.</p>	
<p>IMPIEGHI: Legno mediamente pesante, durabile, usato per una grande varietà di impieghi, dalla paleria alle strutture (travature), alla falegnameria corrente (mobili rustici, infissi e serramenti, pavimenti) ecc.. A causa dell'elevato contenuto di estrattivi (tannini principalmente) tende a corrodere le parti metalliche con cui viene in contatto e a provocare macchie, specialmente se esposto a condizioni umide. Importato in Italia dalla Francia, Svizzera e dall'Est europeo (Russia soprattutto).</p>	
QUERCE CADUCIFOGHE (<i>Quercus spp.</i>)	E: Oak; D: Eiche; F: Chêne
<p>CARATTERISTICHE. Albumo biancastro differenziato dal durame bruno-giallastro più o meno scuro; anelli di accrescimento ben visibili, raggi ben visibili soprattutto sulle superfici radiali dove appaiono sotto forma di lucide specchiature, tessitura grossolana.</p>	
<p>IMPIEGHI: Legno pesante, ad elevata durabilità (solo il durame); usato da moltissimo tempo per strutture e costruzioni navali, marittime, idrauliche e stradali, traverse ferroviarie, falegnameria in genere e pavimenti, botti. A causa dell'elevato contenuto di tannini, presenta gli stessi inconvenienti del legno di castagno. In Italia importato dalla Francia e dall'Est europeo. Diffusissime anche le querce americane: rossa, analoga al castagno come aspetto ed impieghi; bianca, più ricercata per i serramenti ed i parquet.</p>	

Tabella 1.2: Principali caratteristiche delle specie legnose di maggiore impiego in ambito strutturale da [1].

Legname massiccio da costruzione giuntato o KVH

Uno dei prodotti strutturali a base di legno più utilizzati e che oramai costituisce un'alternativa di frequente applicazione al legno massiccio, soprattutto in alcuni sistemi costruttivi come il Platform Frame è costituito dal legno massiccio squadrato e piallato e giuntato a tutta sezione con giunti a pettine, commercialmente noto come KVH.

Le specie legnose utilizzate sono normalmente l'abete rosso e altre conifere come il pino, l'abete bianco e il larice. I giunti a pettine devono essere conformi alle prescrizioni contenute nella norma UNI EN 385. Le sezioni disponibili in commercio hanno base variabile dai 60 ai 140 mm (ad intervalli di 20 mm), altezze dai 100 ai 240 mm e lunghezze fino ai 14 m ma normalmente dai 6 ai 9 m.

Gli elementi di legno strutturale massiccio con giunti a dita a tutta sezione non possono essere utilizzati in classe di servizio 3.

1.3.2 LEGNO LAMELLARE INCOLLATO

Il legno lamellare incollato è uno dei prodotti più versatili tra i prodotti strutturali a base di legno consentendo di superare le limitazioni dimensionali e di forma del legno massiccio per realizzare strutture complesse per forma e comportamento strutturale e di notevoli dimensioni come le grandi coperture e i ponti. La oramai lunga esperienza di realizzazioni di strutture esemplari anche nel nostro Paese lo rendono sicuramente uno dei prodotti strutturali più affidabili e sicuramente competitivi in termini di costi e possibilità applicative con materiali da costruzione più comunemente utilizzati quali l'acciaio e il calcestruzzo.

30

Produzione

Nella realizzazione degli elementi di legno lamellare i produttori devono obbligatoriamente seguire le prescrizioni di un Ente di certificazione, facendo riferimento alla norma specifica UNI EN 386 ("Legno lamellare incollato. Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione"), valida per tutti i Paesi dell'Unione Europea, o a norme nazionali più restrittive. Dal Gennaio 2012 sarà obbligatorio in Italia produrre e commercializzare elementi dotati di marcatura CE, rilasciato da un Ente di Certificazione in conformità alla norma UNI EN 14080 ("Legno lamellare incollato. Requisiti").

Gli elementi di legno lamellare vengono prodotti da tavole o lamelle di legno massiccio di legno di conifera (generalmente abete rosso, più raramente larice, douglasia o abete bianco) preventivamente essiccate e classificate a vista o a macchina e giuntate con giunti a pettine in conformità alle prescrizioni contenute nella EN 385. Lo spessore delle lamelle varia dai 20 (in taluni casi può arrivare anche a 10 mm) ai 33 mm, potendo raggiungere i 40 mm soltanto nel caso di materiale selezionato con cura e da utilizzare in ambienti che comportano limitate variazioni di umidità del legno. La UNI EN 386 invece fissa in 35 mm lo spessore massimo delle lamelle per l'uso nella Classe di servizio 3 e in 45 mm per le altre Classi (quest'ultimo limite viene abbassato a 40 mm per le lamelle costituite da latifoglie). Le larghezze vanno dagli 80 ai 240 mm.

L'elemento strutturale di legno lamellare incollato può essere costituito da un insieme di lamelle tra loro omogenee (elemento "omogeneo") oppure da lamelle di diversa qualità (elemento "combinato") secondo quanto previsto nella norma UNI EN 1194. In questo secondo caso, le tavole migliori vengono disposte nelle zone maggiormente sollecitate, le altre in zone meno sollecitate e comunque sempre nelle parti interne. La resistenza a

flessione di un elemento di legno lamellare dipende praticamente dalla resistenza a trazione delle lamelle più esterne e quindi anche dalla resistenza dei relativi giunti a dita.

Le lamelle che compongono l'elemento finale vengono sovrapposte una sull'altra e incollate. Per garantire una superficie sufficientemente regolare per l'incollaggio, è necessario che le lamelle vengano piallate prima di questa fase. Dopo che la colla ha esaurito il suo processo di indurimento, vengono piallate anche le facce laterali dell'elemento in modo da eliminare eventuali eccessi di materiale adesivo e le eventuali irregolarità presenti. E' a questo punto che vengono realizzate le opportune sagomature sull'elemento. I nuovi centri di lavoro a controllo numerico sono in grado di eseguire con elevata precisione lavorazioni su cinque facce del pezzo ovvero operazioni di intestatura, foratura, tagli, lavorazioni di profilatura e di inserimento della ferramenta necessaria al montaggio in cantiere.

Il sistema di produzione degli elementi lamellari consente di realizzare anche elementi curvi facendo uso di opportune guide che determinano la sagoma finale. A livello di calcolo però in questo caso è necessario prestare attenzione allo spessore delle lamelle che deve essere opportunamente limitato in funzione del raggio di curvatura; la curvatura delle lamelle induce infatti delle tensioni di flessione, che vanno a sommarsi alle tensioni indotte dai carichi, e che, se trascurate, possono provocare il collasso dell'elemento stesso. Per considerare questo fenomeno indotto dalla forma dell'elemento, l'Eurocodice 5 fissa, tramite il fattore k_r , una riduzione della tensione flessionale di calcolo, $f_{m,d}$, in funzione del rapporto fra il raggio di curvatura e lo spessore delle lamelle, ovvero:

$$\text{quando risulta } \frac{r_{in}}{t_i} < 240, \quad f_{m,d} = k_r \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

dove r_{in} è il raggio di curvatura della lamella più interna e t_i lo spessore delle lamelle. Il fattore k_r è definito pari a :

$$k_r = 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t_i}$$

Per valori del rapporto tra raggio interno e spessore della lamella maggiore di 240 tale limitazione non va considerata.

Al fine di proteggere il manufatto durante il trasporto e lo stoccaggio in cantiere dall'azione diretta di eventuali precipitazioni atmosferiche, i semilavorati sono normalmente protetti con cartoni catramati, carte oleate o fogli di plastica traspiranti (con microfori). L'uso di fogli di plastica completamente impermeabili risulta invece sconsigliabile, in quanto può favorire fenomeni di condensa che si rivelano particolarmente dannosi nel caso di una lunga permanenza del prodotto nell'imballo.

Incollaggio

Dal momento che le prestazioni del lamellare sono fondamentalmente legate alla qualità dell'incollaggio, quest'ultimo rappresenta la fase più critica dell'intero processo produttivo e quindi richiede la maggiore attenzione nelle operazioni di controllo. La fase di incollaggio delle lamelle deve essere realizzata entro breve tempo dalla piallatura (la EN 386 fissa un tempo massimo di 24 ore) per evitare fenomeni di ossidazione delle superfici lavorate, che ne riducono la bagnabilità.

Nell'incollaggio delle lamelle si utilizzano prevalentemente:

- **adesivi a policondensazione di tipo fenolico o aminoplastico.** Alcuni di essi, di tipo fenolo-formaldeide (PF), resorcinolo-formaldeide (RF) e resorcinolo-fenolo-formaldeide (PRF), sono di colore scuro (rosso-violaceo) mentre altri, di tipo

mealmmina-urea-formaldeide (MUF), sono di colore chiaro (biancastro). Questi ultimi hanno di fatto soppiantato i primi nella produzione di nuovi elementi in legno lamellare;

- **adesivi di tipo poliuretano.** Sono anch'essi di colore chiaro e sono stati introdotti da pochissimi anni nel mercato. Grazie soprattutto all'ottima versatilità, essi si stanno diffondendo sempre più e attualmente molte delle nuove strutture in legno lamellare vengono prodotte utilizzando questi collanti.

Sta inoltre rivelandosi interessante anche l'uso di resine epossidiche.

Tutti gli adesivi appena descritti consentono di ottenere ottime prestazioni anche in condizioni ambientali difficili e in caso di esposizione diretta agli agenti atmosferici, riuscendo a mantenere sostanzialmente inalterate le proprie caratteristiche nel tempo. Le emissioni di formaldeide libera, che nel caso di altre tipologie di manufatti (per esempio i pannelli) rappresentano un parametro da tenere sotto controllo, non costituiscono invece un problema di interesse nel caso del legno lamellare in considerazione della limitata quantità di adesivo rispetto al volume dell'elemento. Il Tipo di adesivo definito dalla EN 301 ed utilizzato per l'assemblaggio degli elementi in legno lamellare incollato va sempre riportato nella marcatura CE che accompagna l'elemento stesso.

La normativa europea attualmente in vigore prevede che gli adesivi per applicazioni strutturali su legno siano in possesso di determinati requisiti prestazionali misurati conformemente alla norma EN 301. Tale norma classifica gli adesivi in due tipologie a seconda della loro idoneità all'uso in determinate condizioni climatiche:

- **adesivi di Tipo I.** Possono essere utilizzati anche in condizioni continuative di umidità relativa elevata, ed in particolare di più del 85% a 20°C (in queste condizioni in un elemento di legno lamellare si determina un'umidità del 20% circa all'equilibrio). Tali condizioni di fatto corrispondono alla piena esposizione agli agenti atmosferici, e dunque gli adesivi di Tipo I sono utilizzabili in tutte e 3 le Classi di servizio previste dall'Eurocodice 5 (EN 1995-1-1);
- **adesivi di Tipo II.** Possono essere usati in condizioni meno gravose rispetto a quelle del tipo precedente, e dunque per umidità relativa inferiori al 85% e temperature sempre inferiori a 50°C. Queste condizioni corrispondono per esempio a quelle che si riscontrano negli edifici riscaldati e ventilati (quindi in ambienti interni), ma anche nel caso di ambienti esterni protetti o di brevi periodi di esposizione agli agenti atmosferici. Questo tipo di adesivi può dunque essere utilizzato solo per la Classi 1 e 2 previste dall'Eurocodice 5.

L'utilizzo di un adesivo idoneo per la Classe di servizio prevista è condizione necessaria ma non sufficiente affinché un elemento in legno lamellare incollato possa essere effettivamente impiegato nella stessa Classe. Le condizioni di incollaggio e la linea di colla infatti devono possedere requisiti specifici definiti dalla norma EN 14080 in funzione della classe di servizio. In particolare vengono eseguiti test riguardo a :

- il superamento della prova di delaminazione (valutata secondo la UNI EN 391) per la Classe di servizio 3,
- l'adeguata resistenza a taglio della superficie di incollaggio (valutata secondo la UNI EN 392) per le Classi di servizio 1 e 2,
- l'idoneo valore caratteristico di resistenza a flessione per i giunti di testa (valutata secondo la UNI EN 385) per tutte le Classi di servizio,

In base a tali parametri, valutabili tramite controlli sistematici su campioni rappresentativi della produzione, è possibile valutare l'adeguatezza del piano di incollaggio, la sua integrità e la sua resistenza. Il possesso di tali requisiti costituisce un elemento essenziale per la certificazione dell'idoneità produttiva e tecnologica dell'azienda, step preliminare all'ottenimento della marcatura CE.

Classi di resistenza

La classificazione del prodotto finito in base alla resistenza, fa riferimento alla norma UNI EN 1194 ("Strutture di legno. Legno lamellare incollato. Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici") con la quale si attribuisce una classe di resistenza al prodotto finito in funzione della classe di resistenza delle lamelle e in base a calcoli specifici o prove di laboratorio eseguite su elementi in dimensione d'uso. La norma indica un insieme di relazioni per il calcolo delle proprietà meccaniche degli elementi in legno lamellare in funzione della resistenza delle singole lamelle. Le relazioni fondamentali vengono proposte nella Tabella 1.3, in cui i simboli $f_{t,0,l,k}$, $f_{t,90,l,k}$, $f_{c,l,k}$, e $\rho_{l,mean}$ si riferiscono ai valori caratteristici di resistenza (rispettivamente a trazione parallela e perpendicolare alla fibratura, e a compressione parallela alla fibratura) e a valori medi di densità relativi alle *singole lamelle*, mentre i simboli $f_{m,g,k}$, $f_{t,0,g,k}$, $f_{t,90,g,k}$, $f_{c,0,g,k}$, e $\rho_{g,k}$ sono riferiti all'intero elemento in legno lamellare. È evidente che in tal modo il produttore di legno lamellare incollato è in grado di conoscere in partenza quali dovranno essere i requisiti prestazionali delle singole lamelle che andranno a comporre l'elemento ai fini della formazione di un manufatto con una predeterminata classe di resistenza, così come generalmente richiesto dal progettista.

Proprietà	Relazione (EN 1194)
Flessione (N/mm ²)	$f_{m,g,k} = 7 + 1,15 f_{t0,l,k}$
Trazione (N/mm ²)	
parallela alla fibratura	$f_{t0,g,k} = 8 + 0,8 \cdot f_{t0,l,k}$
perpendicolare alla fibratura	$f_{t90,g,k} = 0,2 + 0,015 f_{t0,l,k}$
Compressione parall. alla fibratura (N/m ²)	$f_{c0,g,k} = 7,2 f_{t0,l,k}^{0,45}$
Densità (kg/m ³)	$\rho_{g,k} = 1,10 \rho_{l,mean}$

Tabella 1.3: Caratteristiche meccaniche del legno lamellare.

Classe resistente del legno lamellare	GL 24	GL 28	GL 32
Classe resistente delle tavole (L.L. omogeneo, h)	C24	C30	C40
Classe resistente delle tavole (L.L. combinato, c)	C24/C18	C30/C24	C40/C30

Tabella 1.4: Classi di resistenza del legno lamellare e delle lamelle costituenti.

Su un elemento lamellare formato e classificato, non tutte le operazioni di riduzione della sezione sono ammesse; in particolare è da tenere presente che la riduzione della larghezza delle lamelle, può determinare un declassamento dell'elemento strutturale, in quanto cambiano le dimensioni relative dei difetti rispetto alla larghezza stessa; anche la riduzione in altezza di un elemento in legno lamellare combinato provoca un declassamento dell'elemento stesso cosa che invece non si verifica nel caso di legno lamellare omogeneo.

1.3.3 PANNELLI A BASE DI LEGNO

L'impiego dei pannelli a base di legno da soli o in combinazione con elementi strutturali di legno massiccio o lamellare ha consentito lo sviluppo e l'evoluzione di alcuni sistemi costruttivi, tra i più diffusi al mondo per la realizzazione di edifici per l'edilizia residenziale quali il sistema Platform Frame e il sistema XLam. Esistono in commercio diverse tipologie di pannelli strutturali a base di legno, ognuno con le proprie caratteristiche produttive e ognuno soggetto a precise regole di qualificazione in base alla normativa applicabile.

I pannelli a base di legno per uso strutturale, debbono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 13986.

Per la valutazione dei valori caratteristici di resistenza e rigidezza da utilizzare nella progettazione di strutture che incorporano pannelli a base di legno, può farsi utile riferimento alle norme UNI EN 12369-1 e UNI EN 12369-2.

Compensato

Il compensato è uno dei pannelli strutturali a base di legno più utilizzati in edilizia. È composto da strati di sfogliati molto sottili (da 1 a 3 mm) che vengono assemblati in strati a formare un pannello. Le specie utilizzate normalmente sono il pioppo o il pino. Il compensato ha sempre un numero dispari di strati, incollati a caldo con adesivi fenolici con direzione della fibratura ortogonale uno rispetto all'altro. In questo modo si ottengono elementi molto stabili dimensionalmente e con resistenza e rigidezza massimizzate in entrambe le direzioni.

Le dimensioni commerciali dei pannelli di compensato sono di 1220x2440 mm o 1250x2500 mm con spessori variabili dai 9,5 mm ai 30 mm.

In Tabella 1.5 sono riportati i valori caratteristici di resistenza a flessione secondo la EN 12369-2.

Classe (EN 636)	Valore caratteristico minimo, f_{mk} , di resistenza a flessione (N/mm ²)
F 3	3
F 5	5
F 10	10
F 15	15
F 20	20
F 25	25
F 30	30
F 40	40
F 50	50
F 60	60
F 70	70
F 80	80

Tabella 1.5: Valori caratteristici di resistenza a flessione per una serie di classi di resistenza per pannelli di legno compensato conformi alla EN 636. I valori caratteristici devono essere modificati in base alla EN 1995-1-1 per la Classe di servizio e la durata del carico (k_{mod} , k_{def}) da [1].

OSB

L'OSB (Oriented Strand Board) è un pannello strutturale costituito da scaglie di legno orientate e incollate insieme in diversi strati (in numero dispari come nel caso del compensato) con una resina sintetica (i tipi di resine utilizzate comprendono le fenoliche (PF), le ureiche rinforzate con melammina (MUF) e le poliuretaniche (PMDI), tutte resistenti all'umidità). Le scaglie degli strati esterni sono in generale orientate longitudinalmente rispetto alla lunghezza del pannello, mentre le scaglie degli strati intermedi sono di solito ripartite trasversalmente.

Vengono utilizzati sia legno di conifera (abete, pino) che, più raramente, legno di latifolia. Le dimensioni standard dei pannelli sono 1200x2400 mm o 1220x2440 o 1250x2500 con spessori variabili dai 6 ai 25 mm.

Nella norma EN 300, alla quale fa riferimento la norma EN 13986 per le procedure di qualificazione, vengono definite 4 classi di pannelli OSB, in termini di prestazioni meccaniche e resistenza relativa all'umidità:

- OSB/1 - Pannelli di uso generale per sistemazione interna (inclusi i mobili) in luogo asciutto.
- OSB/2 - Pannelli portanti per uso in luogo asciutto.
- OSB/3 - Pannelli portanti per uso in luogo umido.
- OSB/4 - Pannelli portanti per carichi pesanti per uso in luogo umido.

Si riportano a titolo d'esempio i valori caratteristici di resistenza secondo la UNI EN 12369-1.

Spessore, mm	Massa Volumica (kg/m ³)	Valori caratteristici di resistenza a flessione (N/mm ²)	
		f _m	
t _{nom}	ρ	0	90
>6 a 10	550	18,0	9,0
>10 a 18	550	16,4	8,2
>18 a 25	550	14,8	7,4

Tabella 1.6: Valori caratteristici di massa volumica e resistenza a flessione per pannelli OSB/2 (pannelli portanti per uso in ambiente secco, da utilizzare in Classe di servizio 1) e OSB/3 (pannelli portanti per uso in ambiente umido, da utilizzare in Classe di servizio 1 e 2). I valori caratteristici devono essere modificati in base alla EN 1995-1-1 per la Classe di servizio e la durata del carico (k_{mod} , k_{def}) da [1].

Una interessante alternativa all'OSB è offerta dall'ESB (Engineered Strand Board), prodotto in pannelli standard di 125x259 cm e in spessori variabili dai 12 ai 25 mm che a differenza dell'OSB, oltre ad avere dei valori di resistenza superiori, ed essere realizzato con adesivi poliuretanicici privi di rilasci di formaldeide libera, è dotato di una superficie chiara e levigata e non a scaglie come l'OSB, che può essere o lasciata a vista o sulla quale possono essere applicate vernici protettive e decorative.

LVL

L'LVL (dall'inglese Laminated Veneer Lumber) come ad es. il Kerto® è un prodotto strutturale formato da strati di sfogliato sovrapposti incollati, con fibratura parallela (in alcuni casi viene

prodotto anche a strati incrociati) e per lo più giuntati di testa. Tale prodotto viene industrialmente realizzato in continuo, o comunque in grandi dimensioni, ed è destinato soprattutto ad impieghi strutturali.

XLam

Il pannello di legno massiccio a strati incrociati è una delle più recenti ed interessanti evoluzioni nel settore dei prodotti strutturali a base di legno. Ideato e sviluppato per la prima volta in Germania nella prima metà degli anni 90 che ha conosciuto negli ultimi 10-15 anni un rapido e crescente sviluppo in tutta Europa fino a diventare allo stato attuale il prodotto strutturale più utilizzato nella realizzazione di edifici a struttura di legno. Il pannello a strati incrociati è un prodotto formato dalla sovrapposizione di strati di tavole di legno massiccio disposti ortogonalmente fra loro e collegati mediante incollaggio. Le tavole che compongono il pannello sono tavole di legno massiccio generalmente di abete, di classe C24, di spessore variabile dai 15 ai 40 mm, che vengono giuntate in lunghezza, assemblate in strati disposti ortogonalmente fra loro in numero dispari (3,5,7 strati) e incollati a freddo con colle poliuretatiche (senza rilascio di formaldeide) o colle a base di melammina-urea-formaldeide (a basso rilascio di formaldeide). I pannelli così composti, con spessori variabili dai 50 ai circa 500 mm, risultano degli elementi costruttivi molto rigidi e resistenti che possono essere utilizzati come elementi parete o solaio e dotati di elevata stabilità dimensionale. E' possibile realizzare pannelli con altre specie legnose, ma generalmente sempre legno di conifera (abete bianco, douglasia, larice, pino); in particolare, nel caso di pannelli utilizzati a vista è possibile prevedere la realizzazione dei soli strati esterni con specie legnose maggiormente durabili (larice, douglasia).

36



Figura 1.11: Sezione di pannello di XLam a 5 strati.

Le misure standard dei principali produttori europei sono pannelli dai 125 ai 400 cm di larghezza e fino ai 24 m di lunghezza che vengono poi tagliati con grandissima precisione e mediante macchine a controllo numerico in elementi parete e solaio della forma e dimensioni richieste dal progettista.

Per quel che riguarda le procedure di qualificazione, questo prodotto ricade nei prodotti strutturali innovativi non ancora coperti da norma armonizzata (si veda quanto scritto per quel che riguarda i requisiti di qualificazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni al successivo § 1.4). È in corso di stesura una norma europea di prodotto da parte del gruppo CEN TC 124 (strutture di legno) – Work Group 3, per la quale però occorrerà ancora aspettare qualche anno. Nel frattempo i produttori possono pervenire alla marcatura CE sulla base di specifici Benestari Tecnici Europei (ETA) rilasciati sulla base di un CUAP, oppure in alternativa dovrà ottenere un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Esistono anche altre tipologie di pannelli a strati incrociati, realizzati con chiodatura con chiodi di acciaio o alluminio o mediante spinotti di legno, ma oltre ad essere degli elementi costruttivi che a differenza dei pannelli incollati hanno una minore stabilità dimensionale, sono anche dotati di rigidezza e resistenza molto inferiore, tanto da comportare un raddoppio degli spessori di pannello se utilizzati come elemento parete e da non consentirne l'utilizzo come elemento solaio per luci superiori ai 4-5 m.

1.4 LA CERTIFICAZIONE DEL MATERIALE SECONDO LE DIRETTIVE EUROPEE SUI PRODOTTI DA COSTRUZIONE (MARCATURA CE)

Le NTC 2008 (DM 14/01/2008) al paragrafo 11.7 “Materiali e prodotti a base di legno” definiscono tutte le informazioni necessarie per la qualificazione dei materiali e dei prodotti strutturali a base di legno. Allo stato attuale i materiali e i prodotti strutturali a base di legno si possono trovare in una delle tre seguenti condizioni:

- materiali e prodotti strutturali per i quali esiste una norma europea armonizzata che ne definisca le caratteristiche specifiche e le procedure di qualificazione e per la quale sia terminato il periodo di coesistenza nel quale l'applicazione della norma armonizzata non è obbligatoria, per i quali è quindi necessaria la marcatura CE come previsto dalla Direttiva sui Prodotti da Costruzione 89/106/CEE, definita anche con l'acronimo CPD (in via di sostituzione con la pubblicazione del Regolamento UE n. 305/2011 del parlamento europeo e del consiglio del 9 marzo 2011), definita anche con l'acronimo CPD. Ad esempio questo è il caso dei pannelli a base di legno quali OSB e compensab, coperti dalla norma armonizzata EN 13986, per i quali la marcatura CE è obbligatoria dal 2005;
- materiali e prodotti strutturali per i quali esiste una norma europea armonizzata che ne definisca le caratteristiche specifiche e le procedure di qualificazione e per la quale sia ancora in vigore il periodo di coesistenza, oppure per i quali non esista una norma armonizzata ma sia possibile la qualificazione secondo quanto previsto dalle NTC. In questo caso è possibile la marcatura CE secondo la pertinente norma armonizzata oppure, in alternativa, è possibile una procedura di qualificazione nazionale come riportato nel §11.7.10 delle NTC (ad es. questo è il caso del legno massiccio squadrato, coperto dalla norma armonizzata EN 14081, per il quale la marcatura CE diventerà obbligatoria dal Dicembre 2011 e del legno lamellare incollato coperto dalla norma armonizzata EN 14080, per il quale la marcatura CE diventerà obbligatoria dal Gennaio 2012);
- materiali e prodotti strutturali innovativi o comunque non citati all'interno del capitolo 11 non ancora coperti da norma armonizzata. In questi casi il produttore può pervenire alla marcatura CE sulla base di specifici Benestari Tecnici Europei (ETA) rilasciati sulla base di una Linea Guida di Benestare Tecnico Europeo (ETAG) se esistente o di un CUAP, oppure in alternativa dovrà ottenere un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (ad es. questo è il caso dei pannelli di legno massiccio a strati incrociati XLam per i quali i principali produttori europei sono pervenuti alla marcatura CE sulla base di un ETA).

Ogni fornitore di legno strutturale deve essere qualificato dal Servizio Tecnico Centrale con una delle seguenti modalità:

- come “Produttore”, ossia stabilimento di prima lavorazione di elementi base di legno strutturale non ancora lavorati a formare elementi strutturali pronti per la messa in opera;
- come “Centro di lavorazione” se trasforma i prodotti (anche già marcati CE) in elementi strutturali mediante lavorazioni (tagli, intagli, forature, applicazione di ferramenta, etc.).

I primi devono essere in possesso di un Attestato di Qualificazione, recante il riferimento al prodotto, alla ditta, allo stabilimento e al marchio, che deve essere depositato presso il Servizio Tecnico Centrale e che deve essere impresso in modo permanente su ogni elemento prodotto e i secondi di un Attestato di denuncia di inizio attività, recante ancora il riferimento al prodotto, alla ditta, allo stabilimento e al marchio (che anche in questo caso deve essere depositato presso il Servizio Tecnico Centrale e impresso su ogni elemento lavorato) rilasciate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Qualora lo stesso stabilimento effettui sia la produzione di elementi base che le lavorazioni per la messa in opera dovrà possedere entrambi gli Attestati.

Per ottenere la qualificazione dal Servizio Tecnico Centrale i fornitori devono avere obbligatoriamente nell'organico aziendale la figura del Direttore Tecnico della Produzione qualificato mediante un corso riconosciuto dal Ministero.

Il Direttore Tecnico della Produzione (acronimo DTP), attraverso opportuna delega che ne precisa i compiti, si assume la responsabilità delle seguenti attività:

- organizzazione e gestione dei processi produttivi, dei controlli interni di produzione e delle fasi di lavorazione del legno;
- classificazione in base alla resistenza dei materiali/prodotti commercializzati;
- coordinamento delle attività di progettazione, lavorazione e posa dei materiali forniti qualora tali servizi vengano offerti dall'azienda;
- gestione delle non conformità.

Il DTP può assumere tale incarico in un solo stabilimento.

In caso di semplice fornitura, i materiali devono essere accompagnati dall'attestato di qualificazione e da una relativa dichiarazione di conformità a firma del Legale Rappresentante. Tale procedura è da applicarsi sia in fase di produzione che in fase di lavorazione del materiale.

Riguardo alla marcatura CE, questa in accordo alla CPD indica che il prodotto risponde alle indicazioni della corrispondente Norma Armonizzata tradotta nella Norma Nazionale di Trasposizione oppure alle indicazioni contenute in un Benestare Tecnico Europeo (ETA) rilasciati ai sensi della procedura indicata nel Capitolo 3 della CPD.

Le indicazioni relative alla marcatura CE sono contenute negli Allegati ZA della norma armonizzata di prodotto o nel Benestare tecnico Europeo (ETA). Quest'ultimo, definito dall'Art. 8.1 come "Valutazione tecnica favorevole dell'idoneità all'uso di un prodotto da costruzione per uno specifico impiego, basata sul soddisfacimento dei requisiti essenziali dell'opera di costruzione nella quale il prodotto deve essere incorporato" può essere rilasciato:

- a prodotti per i quali non esiste ancora una Specificazione Tecnica Europea Armonizzata né una Specificazione Tecnica Nazionale Riconosciuta né un mandato per una norma armonizzata e per cui la Commissione non ritiene ancora possibile elaborare una tale norma;
- a prodotti che differiscono sensibilmente da una Specificazione Tecnica Europea Armonizzata oppure da una Specificazione Tecnica Nazionale Riconosciuta.
- L'ETA è rilasciato dall'EOTA, ossia l'Organismo europeo che riunisce tutti gli organismi nazionali (Organismi di Approvazione o Approval Bodies) deputati al rilascio del Benestare Tecnico Europeo in base a due possibili procedure:

- sulla base di Linee Guida ETA (ETAG) se disponibili per un prodotto di una determinata famiglia;
- sulla base di una procedura di valutazione condivisa (CUAP) su proposta di un Organismo di Approvazione che deve ricevere l'approvazione di tutti gli altri Organismi di Approvazione competenti dell'EOTA.

L'ETA è generalmente rilasciato con una validità di cinque anni e tale periodo di validità può essere rinnovato.

Le indicazioni relative alla marcatura CE (etichetta e documenti di accompagnamento) devono essere affisse prioritariamente sul prodotto stesso, altrimenti se non è possibile su un'etichetta allegata o sul suo imballo o far parte dei Documenti di Trasporto e devono essere riprodotte in modo visibile, leggibile e indelebile.

La documentazione accompagnatoria ai documenti di trasporto è costituita dal Certificato di conformità CE rilasciato da un Organismo di Certificazione europeo notificato ai sensi della CPD e dalla Dichiarazione di Conformità CE sottoscritta dal produttore.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] AA. VV. “Linee guida per l’Edilizia in Legno in Toscana”, Regione Toscana, 2009.
- [2] Berti S., Piazza M., Zanuttini R. (2002), *Strutture di legno per un’edilizia sostenibile*, Il Sole 24Ore, Milano.
- [3] AA VV (2003), *Il legno massiccio in edilizia*, Federlegno-Arredo s.r.l., Milano.
- [4] AA.VV. (2007), *Linee guida per la fornitura dei prodotti strutturali a base di legno*, Assolegno – Federlegno Arredo.

Capitolo 2

Comportamento strutturale e criteri di progettazione

2.1 IL QUADRO NORMATIVO PER LE COSTRUZIONI IN LEGNO

2.1.1 LE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Dopo un periodo di aggiornamento normativo piuttosto lungo e travagliato finalmente, dal Luglio del 2009 le Norme Tecniche per le Costruzioni, già emanate con DM del 14/01/2008, insieme alla Circolare esplicativa n. 619 del 2 Febbraio 2009, sono diventate l'unico riferimento normativo applicabile dal progettista italiano.

All'interno delle stesse Norme Tecniche per le Costruzioni sono ben tre i sotto-capitoli relativi alla progettazione delle strutture di legno:

- il paragrafo 4.4 “Costruzioni di legno” all'interno del Capitolo 4 “Costruzioni civili e industriali”;
- il paragrafo 7.7 “Costruzioni di legno” all'interno del Capitolo 7 “Progettazioni per azioni sismiche”;
- il paragrafo 11.7 “Materiali e prodotti a base di legno” all'interno del Capitolo 11 “Materiali e prodotti per uso strutturale”.

Questi tre paragrafi tuttavia non sono di per sé sufficienti per la progettazione e occorre ricorrere all'ausilio di altri riferimenti normativi quali le Istruzioni CNR DT-206: 2007 “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno” oppure l'Eurocodice 5, pur facendo riferimenti ai coefficienti di sicurezza e ai parametri fondamentali per la progettazione qui presenti. Tuttavia questo non rappresenta un ostacolo insormontabile, semplicemente un maggiore sforzo rispetto alla possibilità di trovare tutte le indicazioni in un unico testo normativo. Sforzo in ogni caso necessario anche in relazione ad altri aspetti, per un materiale naturale come il legno per il quale, a differenza di altri materiali di origine industriale, la mera conoscenza delle regole di calcolo non è sufficiente a garantire una corretta progettazione.

Più nello specifico il **paragrafo 4.4 “Costruzioni di legno”** all'interno del Capitolo 4 “Costruzioni civili e industriali” è riferito alla progettazione per le combinazioni fondamentali agli Stati Limite. Definisce i requisiti generali e le metodologie di valutazione della sicurezza in termini di resistenza, stabilità, funzionalità, robustezza e durabilità di strutture portanti realizzate con legno strutturale (intendendo con questa terminologia il legno massiccio segato, squadrato o tondo) o con prodotti a base di legno (ossia legno lamellare incollato e pannelli a base di legno) assemblate con mezzi di unione meccanici o mediante incollaggio, in cui sia i materiali che i prodotti rispondano ai requisiti di qualificazione indicati nel successivo paragrafo 11.7.

Può essere utilizzato sia per la progettazione di strutture di nuova edificazione che per la valutazione della sicurezza di strutture esistenti, ovviamente purché si provveda per queste ultime ad una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale con riferimento, in particolare, agli eventuali stati di degrado.

Oltre a definire i requisiti fondamentali e i criteri per la valutazione della sicurezza, il capitolo stabilisce i valori dei coefficienti parziali di sicurezza sui materiali γ_M e i valori del coefficiente di modificazione delle resistenze k_{mod} in funzione dell'umidità del legno (definita in funzione della classe di servizio nella quale la struttura si trova ad operare e della classe di durata del carico) da utilizzare nella progettazione.

Nel capitolo sono enunciati i principali metodi di analisi per le verifiche agli Stati Limite senza però definire alcuna formula di calcolo. Occorre pertanto necessariamente far riferimento ad altri documenti normativi (peraltro contemplati nei Riferimenti Tecnici citati nel Cap.12 delle stesse NTC) ossia:

- L'Eurocodice 5 oppure
- Le Istruzioni CNR DT/206 (queste ultime disponibili e scaricabili al seguente dal sito web del CNR)

dovendo però, come già detto, obbligatoriamente applicare i valori dei coefficienti di sicurezza specificati in questo capitolo.

Il **paragrafo 7.7 “Costruzioni di legno”** contenuto all'interno del Capitolo 7 “Progettazioni per azioni sismiche”, definisce le regole *aggiuntive* per la progettazione delle strutture di legno nei confronti delle azioni sismiche.

Aggiuntive in quanto il contenuto di questo sotto-capitolo *integra* le regole già contenute nel paragrafo 4.4 e nelle norme collegate, con alcune regole e criteri specifici per la progettazione nei confronti delle azioni sismiche.

Il capitolo riprende quasi interamente il contenuto del corrispondente Capitolo 8 dell'Eurocodice 8 (UNI EN 1998-1: Eurocodice 8 - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azione sismica e regole per gli edifici"), con alcune integrazioni riferite al caso italiano (ad es. le indicazioni riferite ai giunti di carpenteria).

L'azione sismica deve essere valutata secondo quanto specificato nel §3.2 delle stesse Norme Tecniche e deve essere garantito il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio secondo quanto definito nel §3.1.

I valori di resistenza degli elementi di legno fanno riferimento a carichi di tipo “istantaneo”, nelle condizioni di servizio assunte per la struttura. Ai coefficienti parziali di sicurezza sui materiali γ_M si attribuiscono i valori per le combinazioni fondamentali.

Le zone dissipative nelle strutture di legno dovranno essere localizzate nei giunti e nelle connessioni fra gli elementi strutturali mentre per le membrature di legno si dovrà assumere un comportamento elastico-lineare fino a rottura.

In questo paragrafo sono definite le tipologie strutturali ammesse in zona sismica ed i corrispondenti valori dei coefficienti da utilizzare nella progettazione in funzione della minore o maggiore capacità di dissipazione energetica delle strutture (fattore di struttura q).

La maggior parte delle indicazioni progettuali e costruttive per giunti e orizzontamenti sono riferite a edifici realizzati con il sistema Platform Frame che è attualmente il sistema costruttivo a struttura di legno più conosciuto e più utilizzato al mondo per la realizzazione di edifici residenziali, anche multipiano.

Riferendosi nello specifico alla progettazione di edifici a struttura di legno e facendo riferimento ai sistemi costruttivi trattati nell'ambito di questa pubblicazione ossia il sistema Platform Frame (in Italia noto come sistema a telaio) e il sistema a pannelli portanti a strati incrociati o XLam, si rileva quanto segue:

- Sistema Platform Frame. È contemplato tra le tipologie ammesse (*Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni*), è indicato il valore del fattore di struttura q da adottare nella progettazione (5, il più alto per i sistemi costruttivi in legno), sono presenti le regole di duttilità specifiche per giunti e orizzontamenti e le indicazioni costruttive.
- Sistema XLam. È presente nella descrizione dei sistemi costruttivi ammessi (*Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni*) è indicato il valore del fattore di struttura q (2, il più basso per i sistemi costruttivi in legno), mancano totalmente le regole specifiche di progettazione, i criteri di gerarchia delle resistenze e le indicazioni costruttive.

Il **paragrafo 11.7 “Materiali e prodotti a base di legno”** contenuto all'interno del Capitolo 11 “Materiali e prodotti per uso strutturale”, fornisce tutte le informazioni necessarie affinché i materiali e i prodotti strutturali a base di legno, come avviene per tutti gli altri materiali da costruzione contemplati all'interno delle stesse NTC, possano essere:

- prescritti dal Progettista, secondo le esigenze del progetto e in base a caratteristiche meccaniche e fisiche definite all'interno di specifiche norme di prodotto,
- accettati dal Direttore dei Lavori mediante acquisizione della documentazione di qualificazione conforme alle caratteristiche definite in fase progettuale, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione,
- identificati univocamente a cura del fornitore, secondo le procedure applicabili,
- qualificati sotto la responsabilità del fornitore, secondo le procedure applicabili.

Lo scopo del paragrafo e delle indicazioni in esso contenute è quello di fornire le informazioni necessarie affinché la produzione, fornitura e utilizzazione dei prodotti a base di legno per uso strutturale possano avvenire in applicazione di un sistema di assicurazione della qualità e di rintracciabilità che consenta di poter individuare ogni passaggio intermedio dal momento della classificazione e/o marchiatura dei singoli componenti fino al momento della messa in opera. Si rimanda per i dettagli relativi alla qualificazione del materiale a quanto già scritto al § 1.4.

2.1.2 L'EUROCODICE 5 E LE ISTRUZIONI CNR DT/206

Come accennato nel paragrafo precedente, le NTC di per sé non sono sufficienti per la progettazione, come testimoniano le sole 25 pagine in totale dedicate al legno sul totale di circa 500. Le stesse Norme Tecniche prevedono comunque al Capitolo 12 “Riferimenti tecnici

essenziali” la possibilità di avvalersi per la progettazione di altre normative o documenti scientifici quali:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Oltre alla possibilità di utilizzare altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli stabiliti dalle Norme Tecniche.

Per il caso delle strutture di legno tale *possibilità* è una *necessità* e i documenti normativi di supporto contenenti tutte le formule di progettazione e verifica sono come detto l'Eurocodice 5 e le Istruzioni CNR-DT 206.

I due documenti sono sostanzialmente analoghi (tanto da poter ritenere le istruzioni CNR DT/206 una sorta di Appendice Nazionale dell'Eurocodice 5) e definiscono le regole di progettazione, calcolo ed esecuzione delle strutture di legno, relativamente ai requisiti di resistenza meccanica, funzionalità, durabilità e resistenza al fuoco e si basano sul metodo semiprobabilistico agli stati limite. Non vengono considerati altri requisiti quali ad es. l'isolamento termico o acustico o la sostenibilità.

Il loro utilizzo è legato alle indicazioni presenti in altri documenti normativi e precisamente:

- Per i coefficienti parziali di sicurezza sui materiali e per i coefficienti di modificazione delle resistenze k_{mod} e di deformabilità k_{def} , occorre far riferimento ai valori espressi all'interno del §4.4 delle NTC 2008 (si veda quanto scritto in precedenza in questo stesso Capitolo) e non ai valori degli stessi coefficienti indicati all'interno dell'Eurocodice 5 e delle CNR DT/206 (validi invece per la progettazione negli altri Paesi Europei);
- Per i carichi e sovraccarichi bisogna fare riferimento ai Capitoli 2 e 3 delle NTC 2008 (o all'Eurocodice 0 (EN 1990) "Basi di calcolo per la progettazione" e alle varie parti dell'Eurocodice 1 (EN 1991) "Azioni sulle strutture" negli altri Paesi Europei).
- Per le costruzioni in zona sismica le indicazioni integrative relative alle costruzioni di legno sono contenute nel § 7.7 delle NTC 2008 (si veda quanto scritto in precedenza. Negli altri Paesi Europei occorre invece far riferimento all'Eurocodice 8 (UNI EN 1998 – 1 – Capitolo 8 "Regole specifiche per gli edifici a struttura di legno")
- Per le caratteristiche fisiche (massa volumica) e meccaniche (proprietà di resistenza e di rigidezza) del legno si deve far riferimento ai valori caratteristici che risultano essere normalmente armonizzati con le classi di resistenza espressi dalla UNI EN 338. Per il legno lamellare (fino alla pubblicazione della revisione della attuale UNI EN 14080: 2005) i relativi profili resistenti e le modalità con cui definirli, sono indicati all'interno della UNI EN 1194.
- Per gli altri materiali a base di legno (pannelli di particelle e di fibre, compensato, OSB, LVL), per i mezzi di collegamento o componenti strutturali e i relativi metodi di prova (adesivi, elementi meccanici di collegamento, pareti a telaio e pannello leggero di rivestimento) si trova riferimento nella parte introduttiva alle specifiche norme EN di prodotto.

All'interno di entrambe le norme vengono affrontati i seguenti argomenti specifici relativi alla progettazione:

- Criteri generali e basi di calcolo
- Proprietà dei materiali
- Durabilità
- Basi di analisi strutturale
- Stati limite ultimi
- Stati limite di servizio
- Collegamenti con elementi meccanici di collegamento
- Componenti e assemblaggi
- Particolari strutturali e controllo

Le istruzioni CNR DT206 contengono alcuni argomenti specifici non trattati all'interno dell'Eurocodice 5 e specifici del patrimonio edilizio e architettonico del nostro Paese come il calcolo dei solai misti legno-c/c, dei collegamenti con barre incollate e dei giunti di carpenteria, materie nelle quali in un paese come il nostro caratterizzato dalla presenza diffusa di coperture e solai lignei in edifici di muratura quali chiese ed edifici monumentali per i quali sovente è necessario provvedere alla progettazione ed esecuzione di interventi di consolidamento, è stata fatta molta esperienza sia a livello di progettazione che di ricerca sperimentale.

2.2 LE NORMATIVE SPECIFICHE PER L'EDILIZIA DI SUPPORTO ALLE ATTIVITÀ SPORTIVE

Il quadro normativo in vigore nel nostro Paese in relazione agli interventi edilizi per la realizzazione di spazi e ambienti accessori alle attività sportive è regolato, come per tutto il settore dell'edilizia sportiva, dalle regole valide in tutta l'Unione Europea. Nello specifico si individuano tre tipologie differenti di norme che sono rispettivamente:

- le Norme CONI che dettano i riferimenti tecnici essenziali per la progettazione di impianti sportivi ed attività di supporto;
- le Norme UNI EN in relazione ai vari aspetti riguardanti le caratteristiche tecniche e prestazionali dei vari prodotti e componenti;
- le Norme specifiche delle Federazioni Sportive Nazionali relative alle varie discipline sportive.

Nel nostro Paese tutta l'attività di coordinamento delle attività sportive relative alle varie discipline, nonché di diffusione e promozione dello sport è delegata dallo Stato al Comitato Olimpico Nazionale Italiano che si occupa di regolamentare anche a livello legislativo l'organizzazione e la disciplina delle singole attività sportive, mediante le diverse Federazioni Sportive Nazionali e in conformità alle relative disposizioni delle Federazioni Internazionali.

In base al DPR 616 del 1977 e al DPR 475 del 1975 viene demandata alle Regioni la realizzazione degli impianti sportivi e delle attrezzature che si avvalgono della consulenza del CONI in relazione agli aspetti tecnici.

48

Ossia in sostanza spetta al CONI tutta la parte organizzativa, gestionale e promozionale degli eventi sportivi e in particolare delle attività agonistiche e alle Regioni tutta la parte programmatica, esecutiva e gestionale delle infrastrutture necessarie allo svolgimento dell'attività sportiva, in primo luogo quindi degli impianti sportivi, allo scopo sostanzialmente di assicurare ai cittadini le condizioni di base per la pratica dell'attività sportiva.

Occorre inoltre ricordare una disposizione legislativa presente nell'ordinamento statale fin dal 1939 ma confermata anche dai recenti Decreti Legislativi che prevede l'obbligo del parere del CONI "sui progetti per la costruzione, l'acquisto, l'ampliamento e le modifiche dei campi sportivi e dei loro impianti accessori", nonché "per l'approvazione dei progetti relativi agli edifici scolastici". Questo allo scopo di garantire il rispetto delle varie regole tecniche internazionali relative alle diverse discipline sportive.

Anche le recenti modifiche al Titolo V della Costituzione introdotte dalla Legge Costituzionale n. 3 del 2001 riguardanti le competenze di Regioni, Province e Comuni in materia legislativa lascia di fatto inalterate le diverse competenze in materia di edilizia sportiva secondo quanto specificato sopra.

Le principali norme di riferimento per il settore sono le **Norme CONI per l'impiantistica sportiva**, approvate con deliberazione della Giunta Nazionale del CONI n. 149 del 6 maggio 2008. Le norme, come specificato nella Parte I relativa alle prescrizioni generali, hanno lo scopo di individuare livelli minimi qualitativi e quantitativi da rispettare nella realizzazione di nuovi impianti sportivi, ovvero nella ristrutturazione di quelli esistenti, intendendo per interventi di ristrutturazione ogni variazione distributiva e funzionale degli impianti esistenti.

Tra le parti funzionali che caratterizzano un impianto sportivo vengono individuate, oltre agli spazi relativi all'attività sportiva e alle tribune e relativi servizi per il pubblico le seguenti attività:

- **spazi per i servizi di supporto**, comprendenti:
 - *spogliatoi* per atleti, istruttori/giudici di gara e relativi servizi, *primo soccorso*, *locali antidoping*, *locali di controllo*, ecc.
 - *deposito attrezzi*, *servizi per il personale*, *locali tecnici*;
 - *uffici amministrativi*, *atri* e *disimpegni*.
- **spazi aggiuntivi per:**
 - l'organizzazione sportiva, o per la formazione atletica, o per attività sociali, quali ad esempio: *sedi di società o Federazioni*, *aule didattiche*, *laboratori*, *locali per la consultazione medica*, *sale di riunione*, *foresterie*, *uffici vari*, ecc.;
 - attività commerciali e varie, non necessari allo svolgimento delle attività o delle manifestazioni sportive ma opportuni per la gestione dell'impianto sportivo, quali ad esempio *locali per ristoro*, *attività ricreative* o *commerciali con relativi annessi*, ecc.

La presenza di questi ultimi è comunque sempre raccomandata per ragioni gestionali. In sostanza le norme individuano tutte le tipologie edilizie oggetto della presente pubblicazione e ne evidenziano l'importanza in relazione alla fruizione e funzionamento degli impianti sportivi.

Per quel che riguarda le specifiche tecniche e i requisiti qualitativi relativi alla progettazione di questi spazi viene specificato che *“La soluzione distributiva dovrà tenere conto, oltre che delle esigenze dei diversi utenti, anche degli aspetti gestionali e dell'inserimento dell'impianto sportivo nel contesto ambientale adottando, possibilmente, tecnologie e materiali eco compatibili. È raccomandato l'uso di sistemi costruttivi, apparecchiature ed impianti tecnici che consentano il contenimento dei consumi (energetici, idrici, ecc.).”*

Pertanto la progettazione di queste strutture con l'adozione di sistemi costruttivi con strutture portanti in legno, oltre a risolvere o comunque agevolare tutte le problematiche relative alla riduzione dei tempi e dei costi di costruzione, rappresenta la risposta ideale sia in termini di utilizzo di tecnologie e materiali naturali per gli elementi strutturali, di isolamento e rivestimento, che in termini di risparmio energetico attraverso l'adozione di soluzioni costruttive e tecniche che consentano di raggiungere l'obiettivo del contenimento dei consumi a costi competitivi.

Le norme danno poi delle indicazioni specifiche sulla progettazione dei vari ambienti in funzione anche della tipologia di impianto sportivo a cui i servizi sono riferiti (impianti all'aperto o al chiuso), sulle dimensioni minime in funzione della tipologia di servizio da realizzare, sulla disposizione degli ambienti e la loro suddivisione, sulle altezze minime ed in particolar modo sulla tipologia di materiali di rivestimento interni e sui serramenti. A questo proposito viene suggerito l'impiego di materiali che consentano una agevole e frequente manutenzione.

Capitolo 2: Comportamento strutturale e criteri di progettazione

Quest'ultimo aspetto, ossia la facilità degli interventi e i costi di manutenzione, riveste una importanza particolare e anche da questo punto di vista, come spiegato nelle parti successive di questa pubblicazione e a differenza dell'opinione comunemente diffusa, le strutture di legno rappresentano la risposta ideale, attraverso una corretta progettazione, una attenta previsione dei particolari costruttivi e una dettagliata stesura del piano e degli interventi di manutenzione da effettuare nel corso della vita della struttura.

2.3 TIPOLOGIE EDILIZIE E SISTEMI COSTRUTTIVI A STRUTTURA DI LEGNO, CARATTERISTICHE FONDAMENTALI, CENNI AL COMPORTAMENTO STRUTTURALE E CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

2.3.1 PREMESSA

La progettazione di un edificio di legno richiede il coordinamento di un gruppo di professionisti specializzati in diverse discipline (progettazione architettonica, strutturale, geotecnica, energetica e impiantistica) che tutti insieme devono collaborare fin dalle prime fasi dell'ideazione per poter arrivare alla buona riuscita del progetto finale e quindi della costruzione.

Questo è vero in generale per tutti gli edifici e per tutti i materiali da costruzione, ma lo è se possibile ancora di più per il legno, per il quale le cognizioni richieste partono da una approfondita conoscenza delle caratteristiche tecnologiche del materiale e delle soluzioni applicabili in funzione della destinazione d'uso e delle condizioni di esercizio della struttura, tenendo in considerazione la sua origine naturale.

Solo in tal modo è possibile realizzare edifici che, a costi assolutamente competitivi con altri materiali da costruzione offrono diversi vantaggi:

- estrema semplicità e velocità di costruzione con conseguente drastica riduzione della durata dei cantieri. Questo è un concetto che interessa molto i committenti privati, per i quali l'esposizione economica è di conseguenza molto breve ma soprattutto le amministrazioni pubbliche per le quali la riduzione dei tempi di durata di costruzione è un obiettivo importantissimo sia per ridurre i disagi causati dal cantiere che per rispettare i tempi stabiliti;



Figura 2.1: Confronto fra la realizzazione di un solaio in latero-cemento e quella di un solaio in legno. Per il primo occorre puntellare, posare il solaio, cassarare le travi, effettuare il getto, aspettare la maturazione del getto e disammare il solaio. Per il secondo, una volta montate le pareti al piano terra, basta posare i pannelli del solaio e collegarli alle pareti sottostanti e fra loro con l'utilizzo di semplici viti.

- elevata durata nel tempo. Un edificio in legno correttamente concepito e realizzato può durare quanto un edificio in muratura, ovviamente se soggetto ad interventi di manutenzione ordinaria che non sono economicamente più onerosi rispetto ad altri

materiali da costruzione. Le Norme Tecniche per le Costruzioni definiscono i principi da adottare per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni nei riguardi delle prestazioni richieste anche in termini di durabilità oltre che di resistenza meccanica e stabilità e impongono nella progettazione, per tutti i materiali da costruzione, la previsione di un piano di manutenzione per la parte strutturale dell'opera. Inoltre, sempre le Norme Tecniche definiscono la vita utile della struttura come "il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata". Per gli edifici residenziali la vita utile prevista è di 50 anni, periodo nel quale dunque l'edificio, purché soggetto alla manutenzione ordinaria, non debba essere oggetto di interventi di manutenzione straordinaria;



Figura 2.2: Due pagode giapponesi interamente in legno e con altezze di circa 30m, entrambe situate a Nara, l'antica capitale del Giappone, vicino a Kyoto. La prima, situata nel tempio di Horyu-ji è stata costruita nel 607 d.C., la seconda, situata nel tempio di Hokekyu-ji costruita nel 784 d.C.

- buon isolamento acustico e ottimo isolamento termico. Se all'utilizzo del legno come materiale strutturale, di per sé già dotato di ottime proprietà di isolamento termico, si accompagna l'utilizzo di isolanti naturali quali fibra di legno, sughero, fibra di cellulosa, si possono ottenere pacchetti costruttivi che, con uno spessore finito molto contenuto (intorno ai 25-30 cm) consentono il raggiungimento dei requisiti più severi di classificazione energetica;
- ottime prestazioni strutturali sia in termini di resistenza ai carichi statici che soprattutto nei confronti delle azioni sismiche, come spiegato nei paragrafi precedenti, in virtù della leggerezza del materiale e dei livelli di duttilità e di capacità di dissipazione raggiungibili per l'intero organismo strutturali attraverso l'utilizzo di sistemi di collegamento meccanici intrinsecamente duttili. Anche il comportamento al fuoco, contrariamente all'opinione comunemente diffusa e determinata dalla combustibilità del materiale, è eccellente. Il legno brucia con una velocità di carbonizzazione molto lenta e il materiale ancora incombusto mantiene inalterate le

proprie proprietà meccaniche. Normalmente un elemento strutturale di legno progettato per le combinazioni fondamentali possiede già una resistenza al fuoco di almeno 30 minuti se non presenta collegamenti metallici esposti. Inoltre i rivestimenti comunemente utilizzati negli edifici conferiscono alle strutture, anche con spessori piuttosto contenuti, una resistenza ulteriore proteggendo sia gli elementi costruttivi che gli stessi collegamenti dall'azione dell'incendio;

- gli elementi strutturali di legno facilitano il montaggio e l'inserimento di tutti gli elementi impiantistici, che, a causa del ridotto spessore degli elementi costruttivi, possono essere passati all'interno di intercapedini e possono essere agevolmente collegati agli stessi elementi strutturali attraverso l'utilizzo di semplice ferramenta.

Tutte queste sono caratteristiche che fanno sì che i sistemi costruttivi in legno rappresentino la risposta ideale per la realizzazione degli interventi edilizi oggetto della presente pubblicazione. Infatti se da una parte i sistemi costruttivi in legno per l'edilizia residenziale si stanno affermando anche per la realizzazione di edifici di ragguardevoli dimensioni e numero di piani, anche nella realizzazione di strutture medio-piccole, realizzate come integrazione di organismi esistenti, si raggiungono risultati eccellenti coniugando, attraverso l'utilizzo di materiali naturali, i diversi requisiti sopra elencati attraverso il raggiungimento del principale obiettivo che le piccole e grandi società sportive si prefiggono prima di ogni altro nella realizzazione di un intervento edilizio: il contenimento dei costi.

E tra tutti i sistemi costruttivi in legno per l'edilizia esistenti attualmente, sono due quelli che appaiono più adatti per realizzare le strutture oggetto di questa pubblicazione, grazie alle caratteristiche di elevata prefabbricazione dei componenti costruttivi, alla velocità di montaggio e praticità di utilizzo in cantiere, all'agevole applicazione delle componenti impiantistiche, di isolamento e rivestimento e soprattutto grazie agli elevati standard raggiungibili in termini di sicurezza strutturale e risparmio energetico: *il sistema Platform Frame e il sistema XLam*. È indispensabile comunque partire dalla conoscenza delle loro caratteristiche costruttive, del comportamento strutturale e dei criteri di progettazione.

2.3.2 I SISTEMI A PARETI PORTANTI: PLATFORM FRAME E XLAM

2.3.2.1 Impostazione architettonica

Il sistema Platform Frame e il sistema XLam sono i sistemi costruttivi a struttura di legno più conosciuti e diffusi al mondo per la realizzazione di edifici soprattutto residenziali, ma anche con altre destinazioni d'uso (pubblica, commerciale, scolastica) anche di molti piani. Pur avendo caratteristiche costruttive diverse il comportamento strutturale e conseguentemente i criteri di progettazione sono sostanzialmente simili a quelli degli edifici in muratura.

È pertanto opportuno definire alcune regole fondamentali sulle quali la prima idea del progetto architettonico deve essere basata e il cui rispetto agevola notevolmente il compito del progettista strutturale.

Le NTC al punto 7.2.2. "Caratteristiche generali delle costruzioni" al sottoparagrafo "Regolarità" specificano: *Le costruzioni devono avere, quanto più possibile, struttura iperstatica caratterizzata da regolarità in pianta e in altezza. Se necessario ciò può essere*

conseguito suddividendo la struttura, mediante giunti, in unità tra loro dinamicamente indipendenti.

Progettare edifici regolari, principio valido per tutti i sistemi costruttivi e in particolar modo per questi due sistemi costruttivi, non significa necessariamente progettare edifici simmetrici, ma semplicemente far sì che ad ogni piano si abbia una distribuzione più omogenea possibile delle pareti resistenti e delle masse nelle due direzioni principali. La sfida a cui viene chiamato il progettista è quella di progettare edifici che soddisfino i requisiti di regolarità strutturale pur rispondendo alle giuste esigenze formali e di distribuzione e correlazione degli spazi dettate dalla progettazione architettonica.

Elementi verticali resistenti alle azioni orizzontali

L'edificio deve resistere sia ai carichi verticali che a quelli orizzontali (sisma e vento), sono le pareti nelle due direzioni a conferire resistenza alle azioni orizzontali. Pertanto devono essere previste pareti portanti in due direzioni, l'edificio va visto come una scatola in cui sono presenti almeno le pareti esterne.

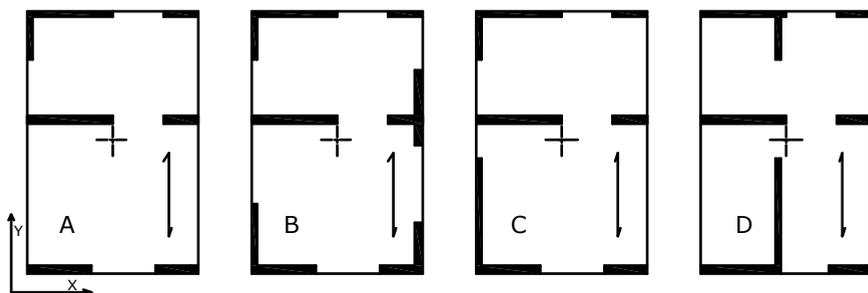


Figura 2.3: Configurazione in pianta degli elementi verticali resistenti alle azioni orizzontali. A - NO. Insufficienti pareti in direzione Y, non si può realizzare. B - SÌ. Sufficienti pareti in ambedue le direzioni. C - Sufficienti pareti in ambedue le direzioni, tuttavia le pareti in direzione Y sono eccessivamente decentrate. D - Sufficienti pareti in ambedue le direzioni; sarebbe opportuno che in ciascuna direzione le pareti siano collocate in prossimità del perimetro della pianta, tuttavia possono essere sufficienti anche pareti più centrali.

Vanno evitate pareti totalmente aperte. Inoltre le pareti portanti devono avere corrispondenza ai vari piani. Con riferimento alla Figura 2.4, le aperture per porte e finestre devono essere il più possibile allineate ai vari piani o, che è lo stesso, i setti murari devono avere corrispondenza ai vari piani o comunque trovare valido appoggio da ambedue i lati.

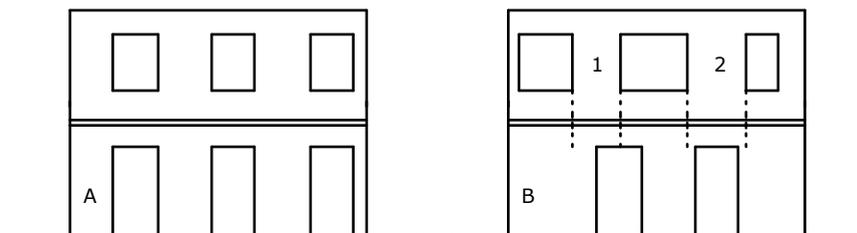


Figura 2.4: configurazione in prospetto. A - Configurazione ottimale, i setti murari sono allineati ai vari piani. B - Il setto 1 non trova valido appoggio alla sua destra. Il setto 2, pur non trovando corrispondenza al piano inferiore, ha validi appoggi da ambedue i lati.

È possibile utilizzare dei pilastri ma in maniera limitata, i pilastri portano solo i carichi verticali ma non quelli orizzontali (sisma e vento) e pertanto possono essere utilizzati solo se ci sono sufficienti pareti in due direzioni.

Diaframmi orizzontali

I solai a pannelli, pur avendo un certo grado di redistribuzione dei carichi a causa delle modalità costruttive hanno un comportamento monodirezionale, cioè si comportano come i solai a travi, pertanto è necessario individuare la direzione di orditura e realizzare degli appoggi sufficienti.

Nei solai degli edifici Platform invece la direzione dell'orditura è data direttamente dalle travi, sopra le quali viene collegato il pannello strutturale di irrigidimento.

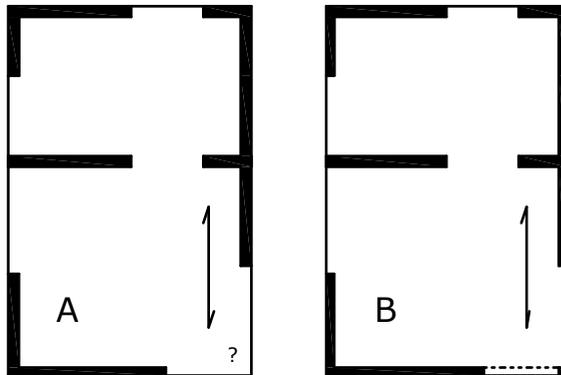


Figura 2.5: Disposizione in pianta dei solai. Nel caso A il solaio non trova appoggio nel punto "?"; nel caso B c'è un pilastro ed una trave, il solaio trova appoggio.

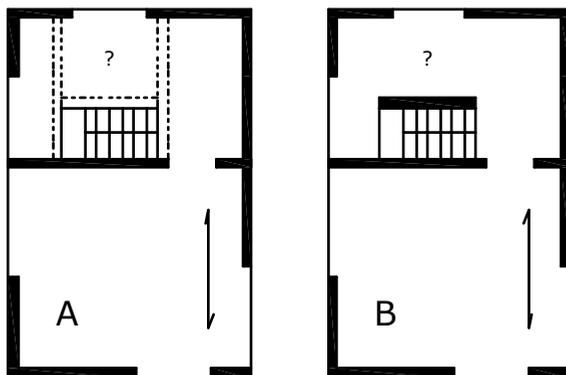


Figura 2.6: Disposizione in pianta dei solai. L'apertura del vano scale deve essere rinforzata con travi (tratteggiate) come in A, oppure deve essere presente un muro per appoggiare il solaio come in B.

Relazioni con parti strutturali non in legno

L'edificio di legno ha bisogno di fondazioni di calcestruzzo armato oppure può essere il completamento in sopraelevazione di un piano inferiore in calcestruzzo armato, acciaio o muratura, ovviamente sempre con fondazioni in calcestruzzo armato.

Ad ogni piano deve esserci un solo sistema strutturale che resiste alle azioni orizzontali.

Sistemi strutturali diversi possono coesistere all'interno dello stesso edificio se posti a livelli diversi, oppure allo stesso livello ma solo se la resistenza alle azioni orizzontali viene affidata ad un solo sistema.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008 al punto 8.4.1 *Intervento di adeguamento* specificano:

È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:

- a. *sopraelevare la costruzione;*
- b. *ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;*

...

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Pertanto, nel caso delle sopraelevazioni di edifici esistenti, anche se effettuate con strutture leggere, è necessario ricalcolare tutto l'edificio partendo dalle fondazioni ed adeguarlo ai nuovi carichi ed alle disposizioni delle norme tecniche vigenti.

Gli edifici esistenti difficilmente possono essere verificati così come sono, nella maggior parte dei casi sono necessari pesanti interventi di rinforzo dell'esistente che rendono molto costosa se non addirittura tecnicamente non possibile l'operazione.

In relazione a questi aspetti si veda quanto spiegato più in dettaglio al successivo paragrafo 2.4, nel quale vengono trattate nello specifico le tematiche relative agli interventi di sopraelevazione ed ampliamento.

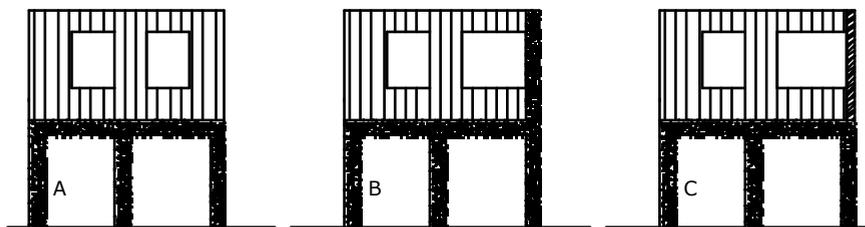


Figura 2.7: Prospetto. A - SI. Il piano inferiore è di calcestruzzo armato, il piano superiore di legno, la struttura è sovrapposta. B - NO. Al piano superiore come elementi resistenti alle azioni orizzontali c'è sia calcestruzzo armato che legno, la struttura è mista. C - SI. al piano superiore la struttura di legno è sufficiente a resistere alle azioni orizzontali, il pilastro di acciaio si inserisce solo per portare i carichi verticali.

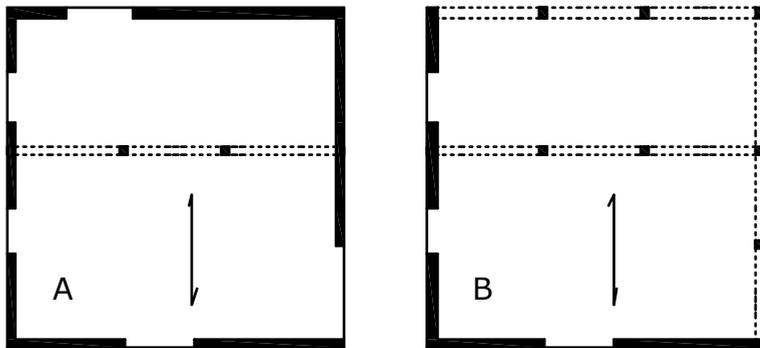


Figura 2.8: Pianta. A - Sì. Il telaio centrale serve solo a portare i carichi verticali facendo da supporto intermedio al solaio. B - NO. Le pareti presenti non sono sufficienti a resistere alle azioni orizzontali, non è ammissibile che i telai partecipino insieme alle pareti alla resistenza alle azioni orizzontali.

La sottostruttura

Le Norme Tecniche per le Costruzioni, entrate in vigore per tutti gli edifici dal primo luglio 2009, hanno notevolmente cambiato sia il modo di calcolare gli edifici che il modo di presentare i calcoli presso gli uffici competenti.

La parte superiore di legno, ai fini della progettazione della sottostruttura, non può essere considerata solo un carico (verticale e orizzontale) in quanto le azioni orizzontali (sisma e vento) trasmettono alla sottostruttura un sistema complesso di sollecitazioni difficilmente schematizzabile.

Nella maggior parte dei casi non è possibile che un Tecnico progetti la parte superiore di legno ed un altro Tecnico la parte inferiore, o quantomeno ciò è molto difficile e fonte di errori. Gli sforzi trasmessi dalla struttura in elevazione alla fondazione non sono solo carichi verticali e taglio orizzontale, ma un sistema complesso formato anche da carichi concentrati che variano al variare delle combinazioni di carico.

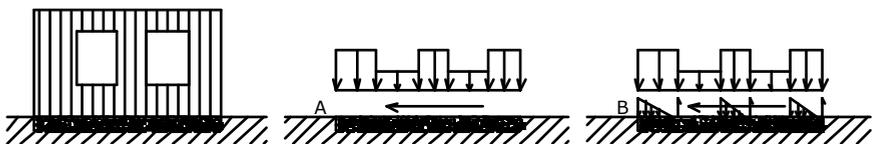


Figura 2.9: Sollecitazioni sulle fondazioni. A - La schematizzazione non è corretta. B - Schematizzazione corretta ma estremamente complessa da descrivere. In questo caso è possibile che la struttura in elevazione e la fondazione la progettino figure diverse, tuttavia è estremamente difficile trasferire fra i due Tecnici le informazioni corrette.

Gli edifici pluripiano formati da piani strutturalmente diversi fra loro, sono da annoverare fra i "non regolari in altezza" e per essi le Norme Tecniche prescrivono che siano studiati dal punto di vista sismico mediante analisi dinamica. Questa va necessariamente effettuata su tutto l'edificio, non è possibile condurla separatamente su porzioni dell'edificio e necessita pertanto necessita della costruzione di un unico modello agli elementi finiti di tutto l'edificio mediante un programma di analisi strutturale.

Solo in zona sismica 4 (piccola percentuale del territorio italiano) è ammesso anche per questi edifici l'analisi con forze statiche equivalenti, in questo caso, non essendo richiesto il modello agli elementi finiti di tutto l'edificio, sarebbe possibile condurre separatamente il calcolo della parte superiore e della parte inferiore, tuttavia resta la difficoltà di trasferimento dei dati fra i due Tecnici.

Altro caso particolare è un edificio formato dai piani superiori di legno e uno o più piani inferiori a setti di calcestruzzo armato o muratura; in questo caso il legno potrebbe essere studiato indipendentemente dalla sottostruttura, ma lo studio della sottostruttura richiede comunque l'analisi dinamica mediante modellazione agli elementi finiti di tutto l'edificio.

2.3.2.2 Concetti generali sulla progettazione e sul comportamento strutturale

In Italia è obbligatorio depositare il progetto delle strutture, qualunque sia il materiale e il sistema costruttivo utilizzato presso gli uffici del Genio Civile.

Il progetto può essere semplicemente "depositato" (per gli edifici privati in genere ed in alcune zone), ossia il controllo del progetto da parte del Genio Civile si limita al controllo della completezza degli elaborati depositati in conseguenza del quale l'ufficio rilascia un attestato di deposito con cui possono iniziare i lavori. Per alcuni edifici, ad esempio quelli pubblici, e per tutti gli edifici in zone ad alta sismicità il progetto è soggetto ad "autorizzazione sismica", cioè il Genio Civile entra nel merito del progetto e deve rilasciare una autorizzazione senza della quale non è possibile iniziare i lavori; in questo caso il lavoro del progettista è maggiore perché la relazione di calcolo deve essere redatta con maggiore dettaglio ed è necessario fare degli incontri con i tecnici del Genio Civile per spiegare il progetto.

58

Tutto il territorio italiano è attualmente classificato come sismico, e pertanto il calcolo strutturale di un edificio di legno deve riguardare sia i carichi statici che le azioni sismiche. Inoltre le NTC prevedono secondo quanto prescritto nel Capitolo 9 per le strutture di legno, come per tutte le altre opere di ingegneria civile, il collaudo statico.

Per il calcolo statico e sismico di edifici di cemento armato, acciaio e muratura esistono programmi di calcolo dedicati che eseguono il calcolo, redigono la relazione di calcolo e impostano i disegni esecutivi; per gli edifici di legno no, il calcolo può essere eseguito solo parzialmente con i programmi di calcolo e il lavoro per il progettista è più complicato.

Inoltre la progettazione di un edificio in legno, sia esso realizzato con il sistema XLam o Platform richiede quasi sempre un disegno tridimensionale dell'edificio contenente tutte le lavorazioni da eseguire sugli elementi strutturali di legno, che è necessaria per lo stabilimento di produzione o per il costruttore che devono pretagliare o preassemblare gli elementi costruttivi da portare in cantiere.

Infine il progetto di un edificio di legno deve contenere il dettaglio di tutti i collegamenti fra i diversi elementi strutturali di legno, non è possibile progettare solo alcuni particolari costruttivi e demandare al costruttore le decisioni sulle modalità di realizzazione e sulla ferramenta da utilizzare. Questo sia perché tutti i particolari costruttivi dei collegamenti vanno progettati, sia perché la progettazione di un particolare costruttivo riveste un'importanza fondamentale in relazione al comportamento strutturale, al comportamento al fuoco, alla resistenza sismica e alla durabilità della struttura.

La tecnica delle costruzioni degli edifici in legno Platform e XLam e la ricerca sul comportamento statico e sismico condotta negli ultimi anni, consente ad oggi di stabilire delle regole di progettazione sia in campo statico che sismico.

Il funzionamento strutturale è come detto assimilabile a quello degli edifici in muratura. Sia per il Platform Frame che per l'XLam il comportamento è quello di struttura scatolare in cui le pareti e i solai sono formati da diaframmi costituiti da pannelli di legno massiccio collegati fra loro mediante collegamenti meccanici.

I solai di copertura e interpiano svolgono la duplice funzione di resistenza ai carichi verticali (permanentemente strutturali e non strutturali e accidentali) di competenza e di irrigidimento nel piano per le azioni orizzontali (vento e sisma). Le azioni verticali vengono trasferite dagli orizzontamenti agli elementi strutturali verticali, ossia le pareti o i pilastri e da questi alle fondazioni. Considerate le caratteristiche di leggerezza del materiale le sollecitazioni indotte sulle fondazioni sono notevolmente inferiori rispetto a quelle indotte da strutture in muratura o in c.a. e conseguentemente le strutture di fondazione risultano generalmente più leggere.

Le pareti verticali esterne e i pilastri quando previsti sono soggetti oltre che ai carichi verticali anche alle azioni orizzontali dovute al vento che agiscono perpendicolarmente al piano della parete.

In relazione alle azioni orizzontali (vento e sisma), occorre considerare che essendo questo tipo di edifici piuttosto leggeri, generalmente l'azione orizzontale indotta dal vento è dello stesso ordine di grandezza di quella sismica e non è affatto trascurabile, pertanto, anche in zone a bassa sismicità, la progettazione per azioni orizzontali è particolarmente importante.

2.3.2.3 Caratteristiche costruttive e criteri di progettazione

La progettazione di un edificio in legno, come detto in precedenza, parte dal coordinamento di più figure professionali che tutte insieme devono apportare il proprio contributo in relazione a differenti aspetti specifici tra i quali quelli strutturali sono solo una parte del problema. Per comprendere appieno il comportamento strutturale di un edificio di legno occorre pertanto considerare il processo costruttivo, mettendo in relazione in tal modo gli aspetti strutturali con le altre esigenze, architettoniche, impiantistiche e tecnologiche. Nelle pagine che seguono verrà illustrato passo per passo il processo costruttivo dei due sistemi costruttivi maggiormente utilizzati al mondo per la realizzazione di edifici multipiano in legno, ossia il sistema Platform Frame e il sistema XLam, evidenziando gli aspetti strutturali specifici.

Sistema Platform Frame

Le strutture di **fondazione** vengono sempre realizzate in calcestruzzo armato in modo da staccare il piano di posa delle strutture verticali in legno dal livello del terreno. Le soluzioni usualmente adottate sono o una platea di fondazione o delle travi rovesce. Anche nel caso di realizzazione di una platea è comunque sempre opportuno realizzare un ulteriore cordolo di fondazione in c.a. sotto le strutture portanti verticali in legno sopra il quale andrà posata una guaina bituminosa per proteggere gli elementi strutturali in legno dall'umidità di risalita che deve risvoltare sulla struttura di fondazione (e non sulla parete di legno) per evitare di creare delle trappole di umidità.

Talvolta il cordolo può essere evitato se le strutture di fondazione fuoriescono dal livello del terreno.

È importante sottolineare che, per la natura intrinseca del materiale, che ricordiamo è un materiale biodegradabile e per le sue caratteristiche di igroscopicità, il dettaglio del collegamento delle strutture portanti verticali in legno alla fondazione è fondamentale per garantire il corretto funzionamento della struttura e pertanto maggiore sarà la distanza tra queste e il piano di campagna e le strutture di fondazione, minore sarà la possibilità di incorrere in problemi di degrado causato dall'umidità di risalita. Una soluzione ottimale può essere anche quella di realizzare il primo piano della struttura in c.a. o muratura e sopra questa impostare la sovrastruttura in legno. In questo caso occorre però considerare che, come già spiegato in precedenza, a livello di progettazione strutturale la struttura andrà considerata come non regolare in altezza e pertanto occorrerà considerare un valore del fattore di struttura q ridotto per la progettazione nei confronti delle azioni sismiche e sarà necessario procedere ad una analisi dinamica.

Sopra il cordolo di fondazione viene posato un cordolo di legno, generalmente realizzato con una specie legnosa durevole (ad es. legno massiccio o lamellare di larice) della stessa sezione del cordolo di base della parete o comunque con stessa base e altezza di 10-12 cm. Il cordolo di legno va collegato alla fondazione con barre tirafondo in acciaio inserite in fori sigillati con malta epossidica o cementizia. Il diametro delle barre e l'interasse dipenderà dal calcolo in funzione del taglio agente sulla parete considerata. Generalmente si utilizzano barre filettate di diametro variabile dai 12 ai 16 mm, il diametro del foro dovrà essere maggiore di due mm (quindi dai 14 ai 18 mm) e la barra andrà inserita con una rondella da legno. In alternativa possono essere usate viti a secco per il collegamento legno-cl.

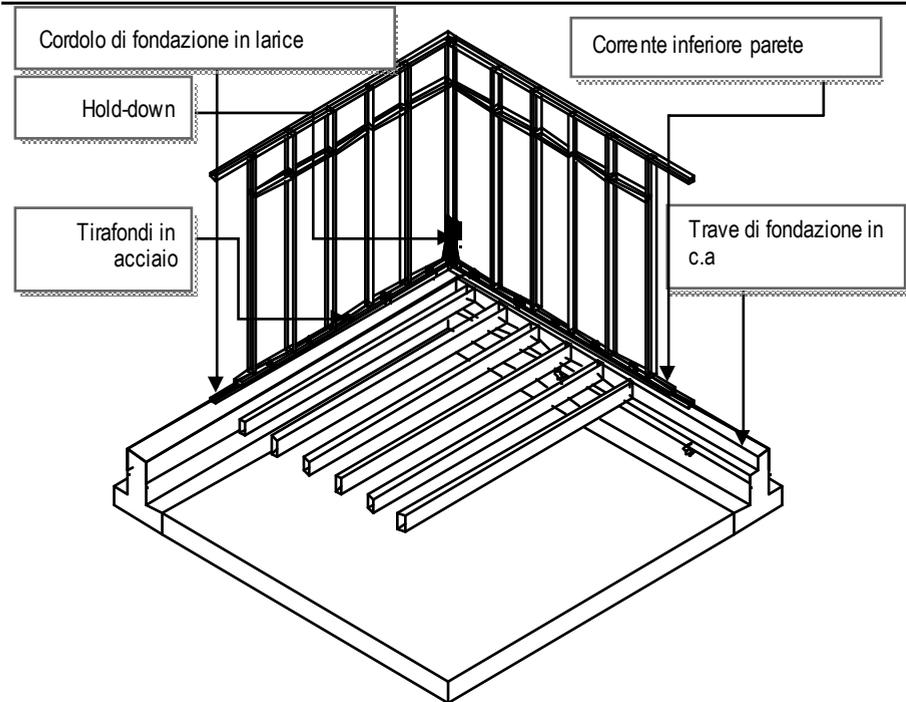


Figura 2.10: Collegamento alle fondazioni per un edificio Platform Frame.

Sopra il cordolo viene collegata la **parete** formata da una **intelaiatura** di legno, generalmente massiccio ma anche lamellare o KVH a seconda delle sezioni necessarie, formata da elementi tutti della stessa sezione e costituita da un corrente inferiore, dei montanti disposti ad interasse di 40-60 cm (l'interasse è sempre un sottomultiplo della larghezza dei pannelli di rivestimento strutturale, generalmente di 122 o 125 cm) e da un corrente superiore.

Su un lato dell'intelaiatura, generalmente quello esterno, o anche su entrambi i lati se necessario per esigenze strutturali viene posizionato il pannello di rivestimento strutturale, generalmente compensato o OSB di 12 mm di spessore, il quale viene collegato all'intelaiatura con chiodi ad aderenza migliorata di diametro dai 3 ai 3,5 mm e disposti ad interasse generalmente di 150 mm sui bordi del pannello e 300 mm sui supporti interni. L'interasse dei chiodi è ovviamente determinato dai calcoli ed è quello che si applica sui bordi del pannello, l'interasse sui supporti interni è sempre doppio rispetto a quello sui bordi.

I pannelli sono di compensato o OSB hanno dei formati commerciali che generalmente sono 122x244 cm o 125x250 cm. L'altezza minima per avere l'abitabilità nella maggior parte degli ambienti in Italia è di 270 cm, per cui questo comporta che le pareti non possono essere realizzate con un unico pannello in altezza. Occorre quindi inserire degli elementi intermedi orizzontali nel telaio (detti *blocking*) per il fissaggio dei pannelli. I chiodi andranno posizionati allo stesso interasse previsto per tutti i bordi dei pannelli.

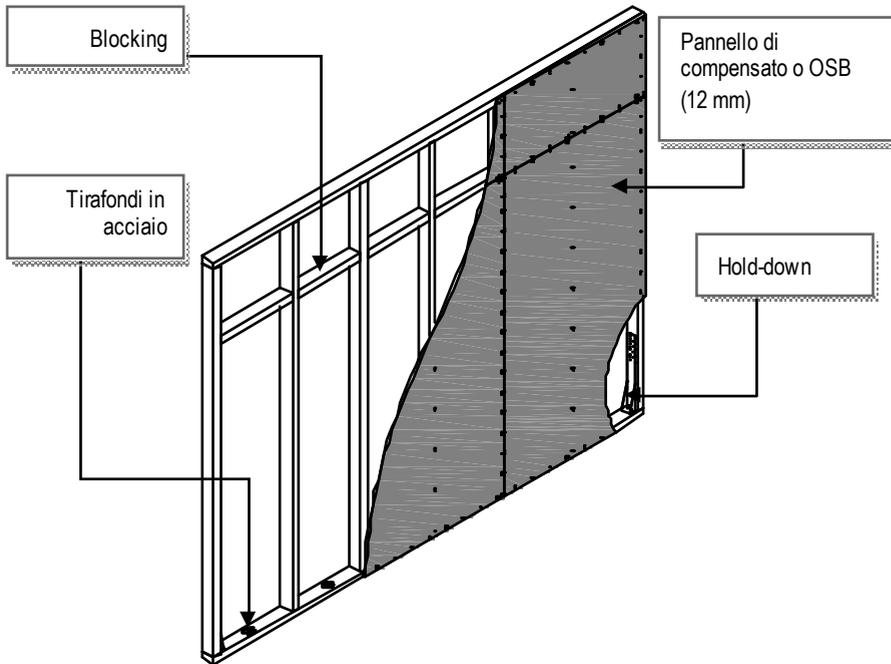


Figura 2.11: Dettaglio strutturale di una parete Platform con collegamento del pannello strutturale di compensato/OSB tramite chiodi e elementi di collegamento alla fondazione.

Le aperture sono generalmente realizzate con un doppio montante in cui quello più interno fa da supporto per l'architrave, generalmente realizzato con un elemento di legno lamellare. La stessa modalità viene utilizzata per la realizzazione dei parapetti delle finestre come illustrato in Figura 2.12.

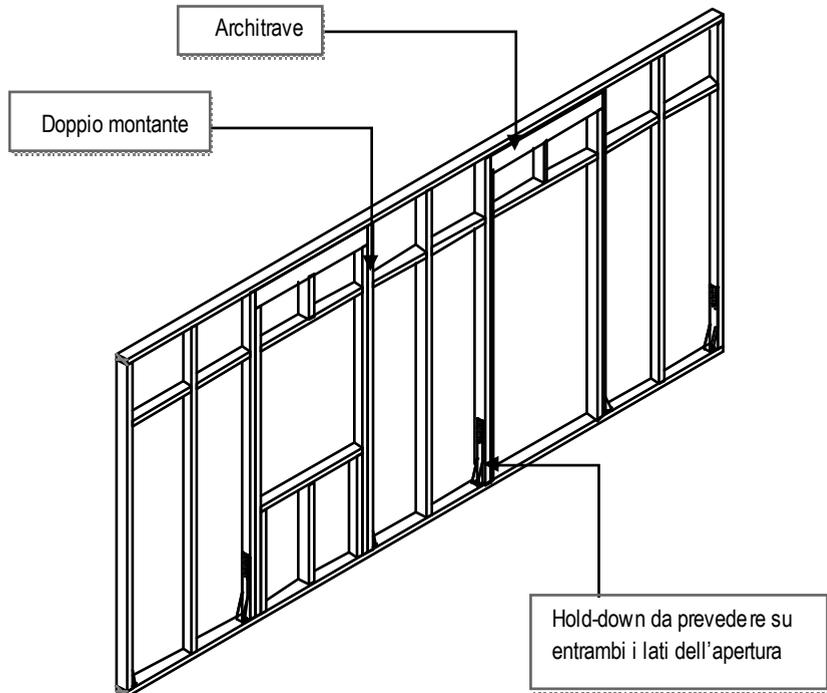


Figura 2.12: Dettaglio del telaio della parete con aperture per porte e finestre.

La parete deve assolvere a diverse funzioni in relazione al suo comportamento strutturale e ai carichi ai quali è soggetta:

- resistenza ai carichi verticali;
- resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete (sisma, vento);
- resistenza ai carichi orizzontali agenti nel piano perpendicolare alla parete (vento).

La resistenza ai carichi verticali è devoluta ai montanti verticali. A questo proposito è opportuno sottolineare che non è necessario prevedere sezioni a base quadrata, ossia con inerzia uguale nelle due direzioni principali come se si trattasse di pilastri isolati, in quanto l'instabilizzazione per carico di punta nel piano della parete è impedita dal pannello strutturale a base di legno di rivestimento collegato a questi ultimi con i chiodi e può pertanto avvenire solamente nel piano ortogonale alla parete. Questo è il motivo per il quale i montanti delle pareti hanno sezione rettangolare (generalmente la stessa utilizzata per il corrente inferiore e superiore di completamento del telaio), con il lato minore disposto nella direzione del piano della parete.

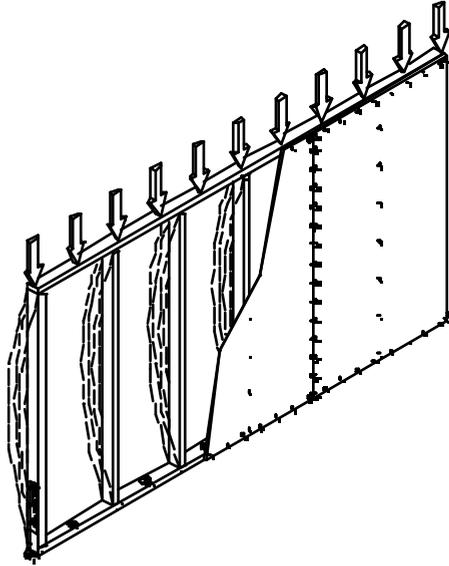


Figura 2.13: Parete Platform soggetta a carichi verticali. La resistenza è dovuta ai montanti verticali che si possono instabilizzare solo nel piano ortogonale alla parete, in quanto l'instabilizzazione nel piano della parete è impedita dal collegamento chiodato ai pannelli di rivestimento strutturale.

La resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete è garantita dalla resistenza dei chiodi di collegamento dei pannelli all'intelaiatura che vengono sollecitati a taglio. La resistenza a taglio nel piano della parete può essere calcolata, partendo dalla resistenza a taglio del singolo chiodo secondo i metodi illustrati al §9.2.4 dell'Eurocodice 5.

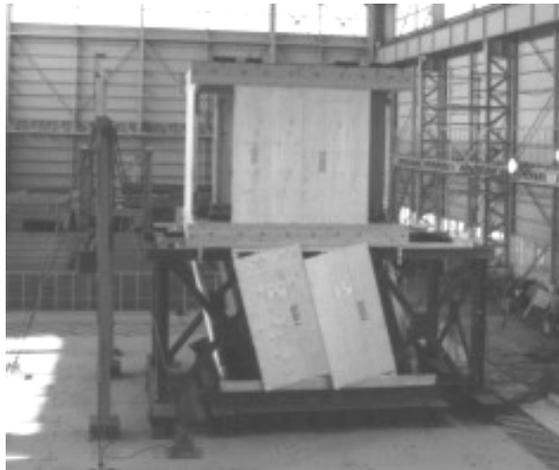
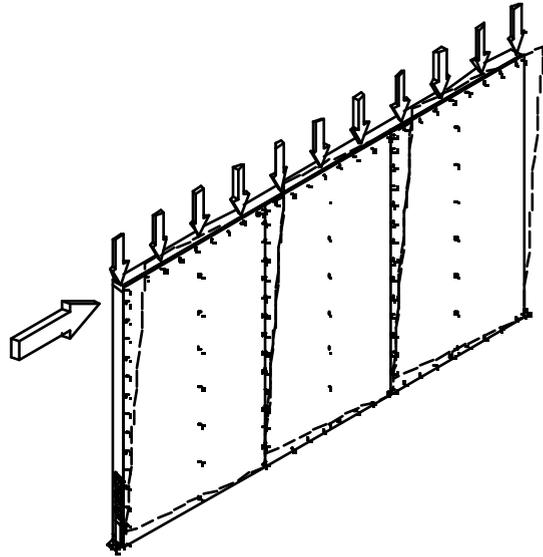


Figura 2.14: Parete Platform soggetta ad azioni orizzontali nel piano e edificio di due piani arrivato al collasso a seguito di una prova sismica su tavola vibrante. La resistenza della parete per azioni orizzontali agenti nel suo piano è data dalla resistenza a taglio dei collegamenti chiodati del pannello strutturale al telaio.

Per effetto delle stesse azioni orizzontali agenti nel suo piano, la parete è soggetta ad azioni di scorrimento e sollevamento, le quali devono essere contrastate dagli elementi di collegamento alle fondazioni. La funzione di presidio al sollevamento è svolta dagli hold-down, ossia piastre angolari allungate collegate con chiodi al telaio della parete e con barre tirafondo in acciaio inserite in fori sigillati con malta epossidica o cementizia alla fondazione e posizionate alle estremità della parete e in corrispondenza delle aperture, e con tirafondi in

acciaio di collegamento del cordolo inferiore della parete alla fondazione come elementi di presidio allo scorrimento.

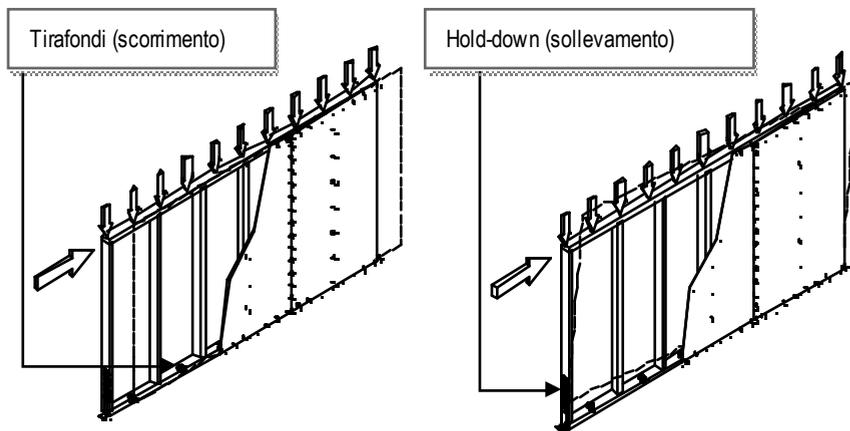


Figura 2.15: Parete Platform soggetta ad azioni orizzontali nel piano. Le azioni di scorrimento e sollevamento vengono contrastate mediante tirafondi e hold-down (nota: per chiarezza in questo disegno gli hold-down sono posizionati all'esterno del telaio della parete, ma solitamente vengono posizionati al suo interno).

66

Le azioni orizzontali ortogonali al piano della parete (ad esempio dovute al vento) vengono assorbite per area di influenza dai montanti verticali che vengono quindi sollecitati a pressoflessione.

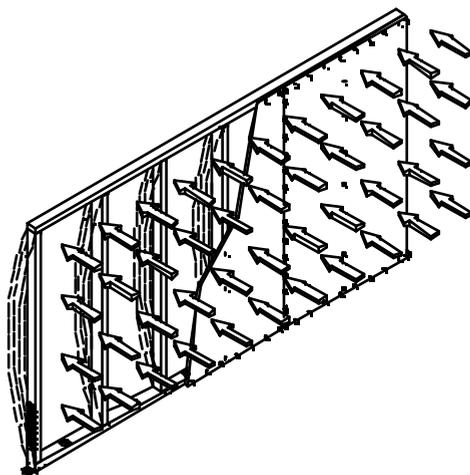


Figura 2.16: Parete Platform soggetta ad azioni orizzontali ortogonali al piano.

La parete viene poi completata con l'inserimento di una controparete interna per il passaggio degli impianti rivestita con cartongesso o fibrogesso, del rivestimento strutturale interno in OSB o compensato, dell'isolante in fibra di legno nell'intercapedine della parete, del

rivestimento esterno realizzato con pannelli di OSB o compensato se necessario per esigenze strutturali o in alternativa con tavolato o multistrato e normalmente un cappotto isolante esterno sopra il quale viene realizzato il rivestimento esterno con intonaci ai silicati di calcio o a base di calce naturale.

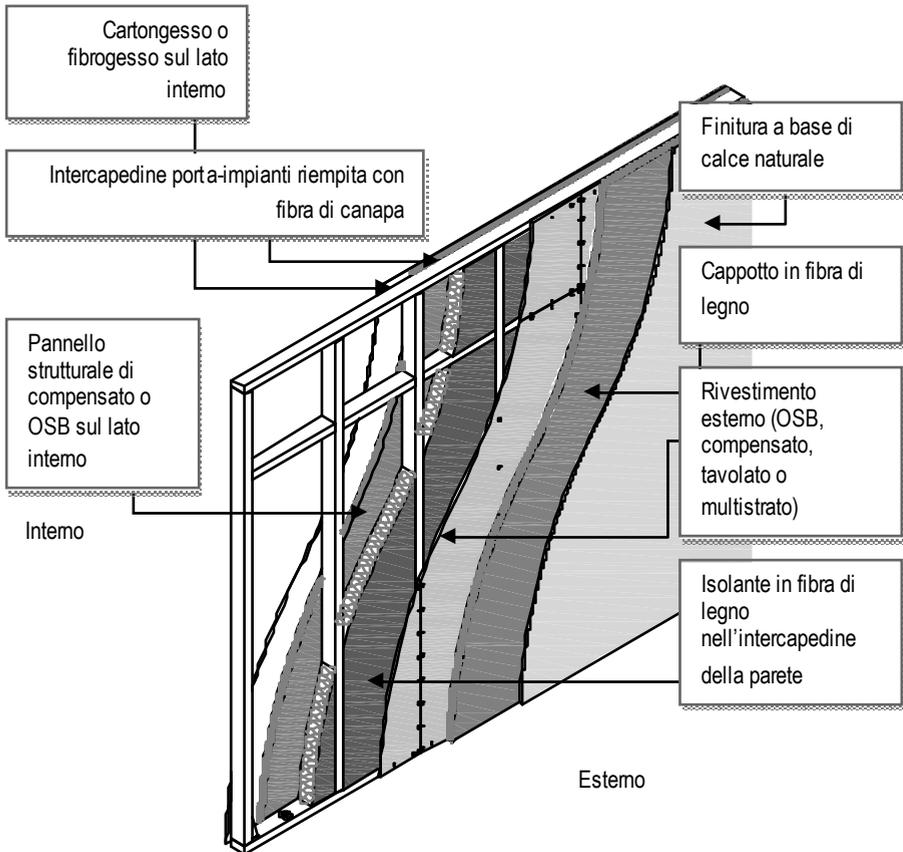


Figura 2.17: Esempio di pacchetto costruttivo completo per una parete Platform.

Il collegamento fra pareti ortogonali agli angoli dell'edificio viene realizzato in vari modi o con tre montanti della stessa sezione o con un montante d'angolo a sezione quadrata e due montanti del telaio per il fissaggio dei pannelli interni. Le due pareti d'angolo devono essere collegate fra loro lungo i montanti con l'inserimento di viti autoforanti o chiodi ad interasse ravvicinato per realizzare un collegamento sufficientemente rigido.

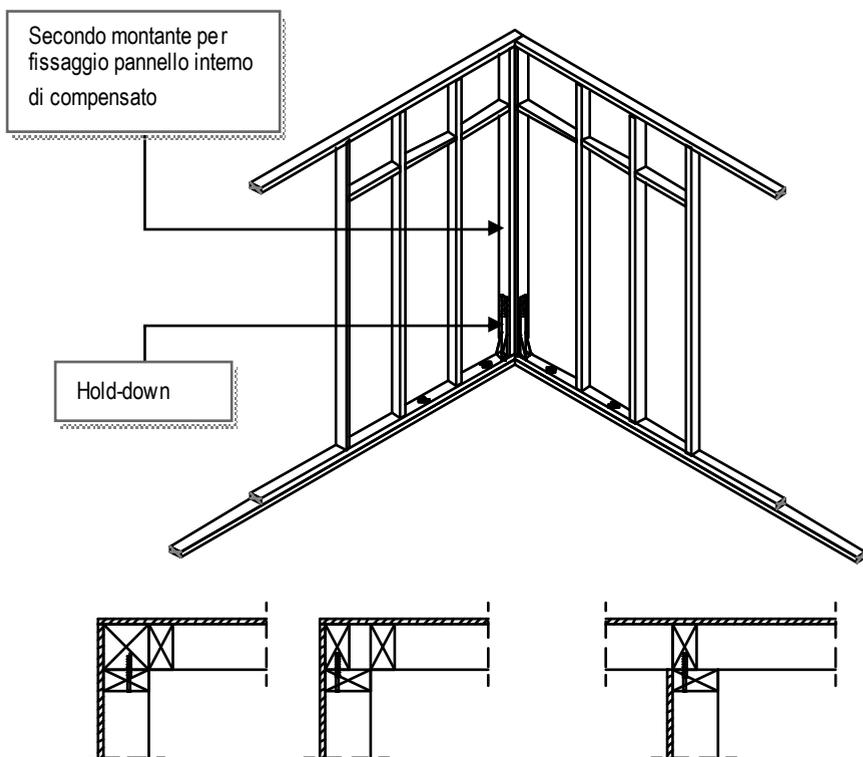


Figura 2.18: Collegamento d'angolo.

Una volta posate le pareti del piano terra si posa un secondo cordolo superiore di collegamento delle pareti, della stessa sezione del primo e con i giunti sfalsati agli angoli dell'edificio rispetto alle pareti sottostanti e sopra questo il **soffitto**. Questo è costituito da travi di legno massiccio o più frequentemente lamellare disposte preferibilmente sempre sopra i montanti delle pareti e da pannelli di rivestimento strutturale a base di legno (compensato o OSB) come quelli utilizzati per le pareti, collegati alle travi del soffitto con chiodi sempre di 3-3,5 mm di diametro disposti a 150 mm sui bordi esterni dei pannelli e 300 mm sui supporti interni. La struttura del soffitto è poi completata da un cordolo disposto lungo il perimetro del soffitto.

Il pacchetto del soffitto è usualmente composto da, partendo dal basso verso l'alto, pannello strutturale in OSB o compensato (sotto il quale può essere posizionato un tavolato), telo antipolvere, isolante in fibra di legno, carta oleata, massetto porta-impianti, riscaldamento a pavimento, secondo massetto e pavimentazione. I massetti possono essere realizzati in calcestruzzo oppure a secco ad esempio con graniglia di marmo e perlite.

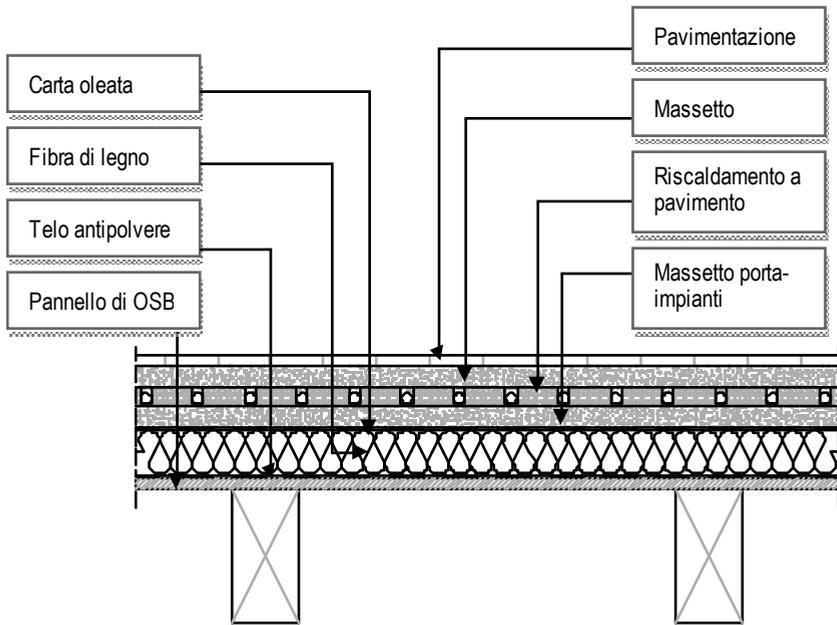


Figura 2.19: Esempio di pacchetto solaio.

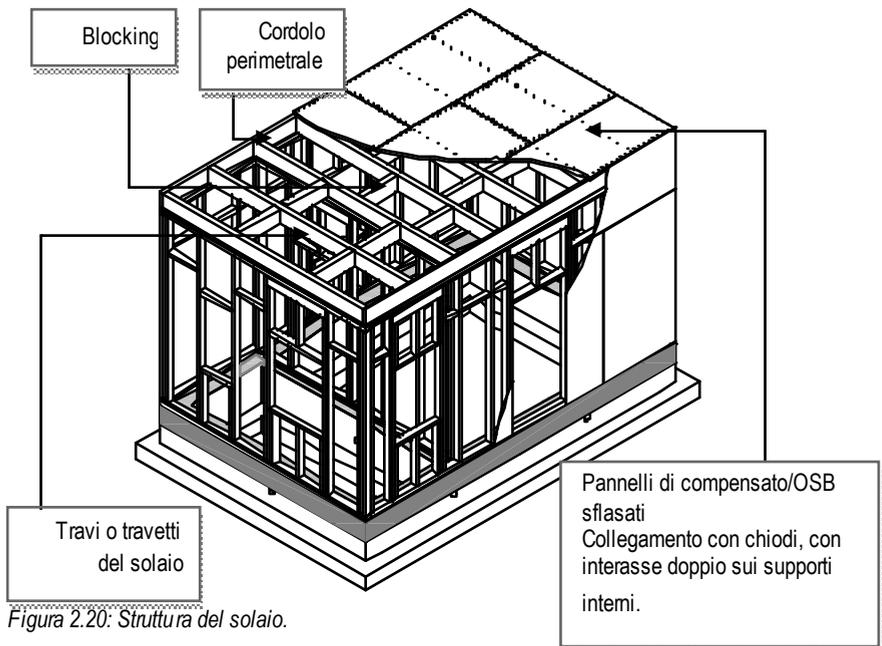


Figura 2.20: Struttura del solaio.

Una volta realizzato il primo solaio questo fa da piattaforma per il montaggio delle pareti del piano successivo. Le pareti del **piano successivo** vengono posate sopra il solaio e collegate a questo con le stesse modalità utilizzate per il collegamento alle fondazioni ma con mezzi di unione diversi. Per quel che riguarda gli hold-down, per le pareti interne andrà prevista una coppia di hold-down, uno collegato alla parete del piano inferiore e uno alla parete superiore, uniti fra loro con un bullone passante per le pareti interne, mentre per le pareti esterne può essere utilizzata una banda metallica forata collegata con chiodi alle pareti superiore e inferiore. Il collegamento della parete inferiore al solaio sovrastante e della parete del piano superiore al solaio può essere effettuato con viti autoforanti.

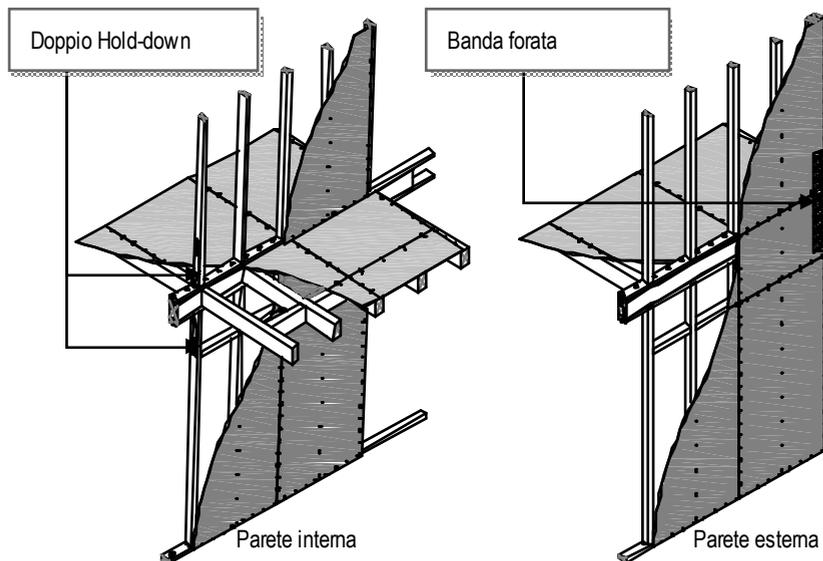


Figura 2.21: Collegamenti di interpiano pareti interne e esterne.

Infine una volta montate le pareti dell'ultimo piano, può essere realizzata la struttura di **copertura**. Questa viene solitamente realizzata con struttura tradizionale con trave di colmo e travi secondarie oppure mediante capriate leggere collegate al cordolo di collegamento delle pareti, sopra le quali viene posizionato e collegato il rivestimento strutturale realizzato con compensato o OSB (o un doppio tavolato incrociato) e il pacchetto di copertura.

Quest'ultimo può essere composto, sopra il pannello di OSB, da barriera igrovariabile, di tenuta all'aria e antipolvere, isolante in fibra di legno, guaina traspirante, doppio listello per la ventilazione e manto di copertura.

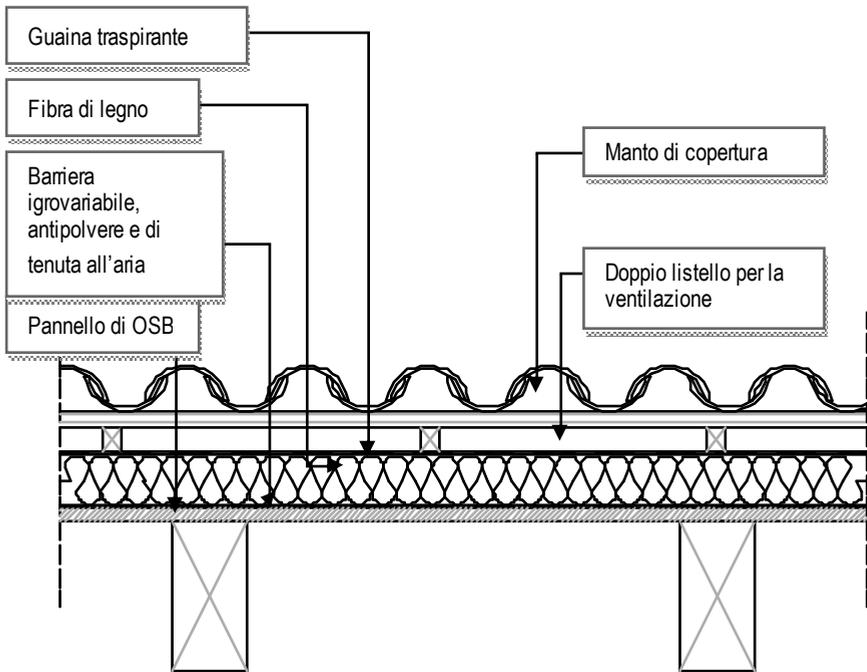


Figura 2.22: Esempio di pacchetto copertura.

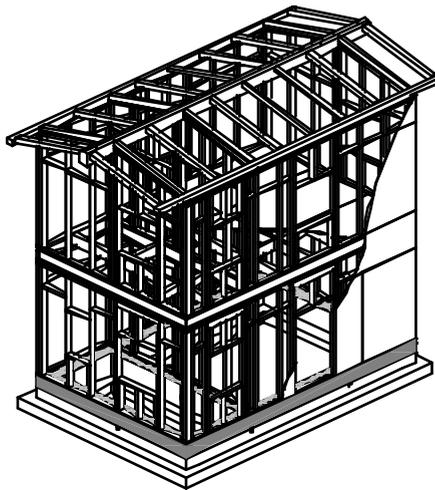
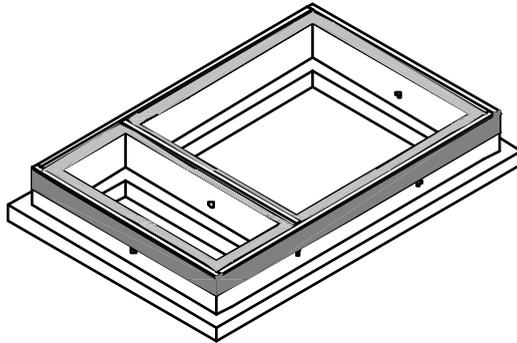


Figura 2.23: Copertura con struttura tradizionale a travi.

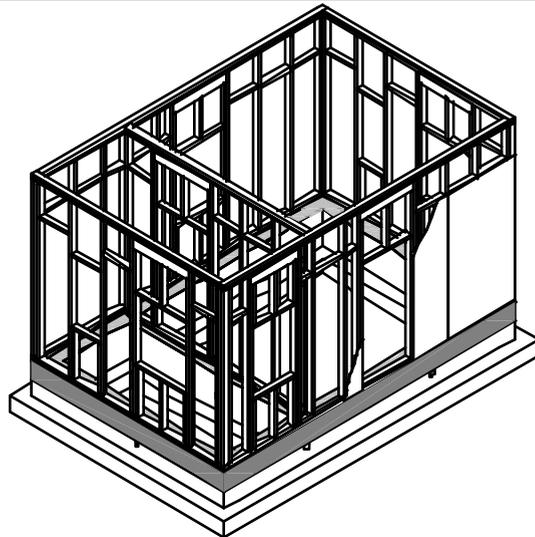
Capitolo 2: Comportamento strutturale e criteri di progettazione

Riassumendo le fasi di **montaggio** di un edificio Platform Frame possono essere schematizzate con la procedura seguente:

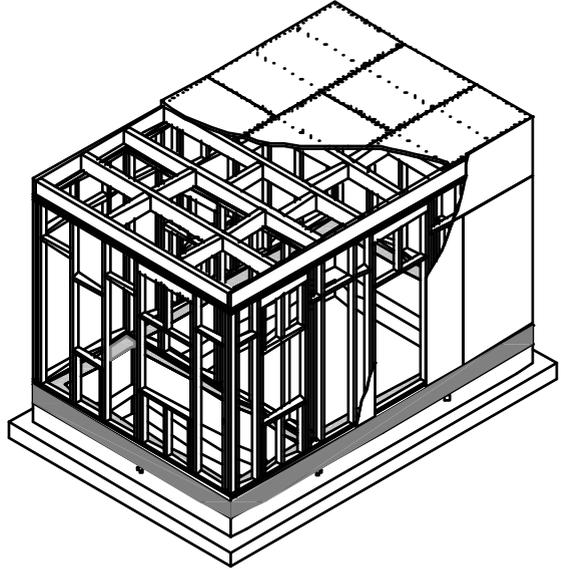
FASE 1: realizzazione cordoli o travi rovesce di fondazione in c.a., posa guaina e montaggio cordolo di legno.



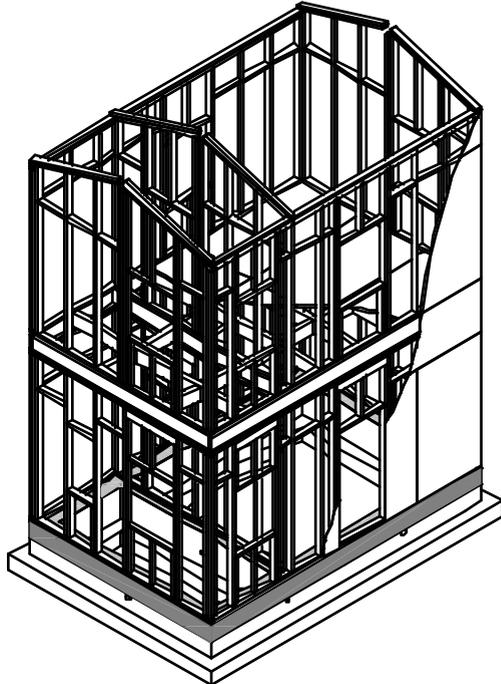
FASE 2: posa e collegamento pareti piano terra e secondo cordolo superiore di collegamento.



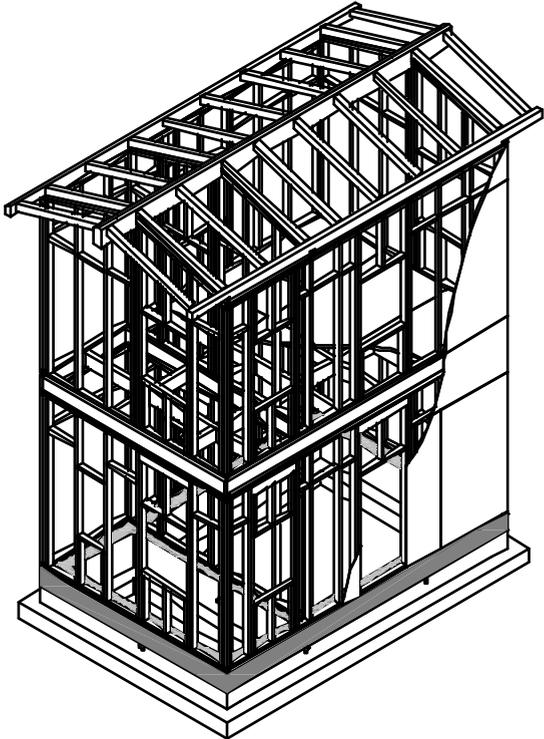
FASE 3: posa solaio formato da travi principali, blocking, pannelli strutturali a base di legno e cordolo perimetrale esterno.



FASE 4: posa e collegamento pareti piano primo e collegamento alle pareti e al solaio sottostante.



FASE 5: montaggio
copertura.



Sistema XLam

La realizzazione delle strutture di fondazione segue le stesse regole viste per gli edifici Platform, con la sola differenza che i carichi trasmessi in fondazione dalla struttura sono maggiori (a parità di requisiti di progettazione, le strutture di un edificio realizzato con il sistema XLam pesano circa tre volte tanto quelle di un edificio con il sistema Platform).

Per il sistema XLam, il collegamento alle fondazioni può essere effettuato in due modi differenti.

Sopra il cordolo di fondazione in c.a. viene stesa una guaina bituminosa per evitare umidità di risalita e sopra questa vengono posate direttamente le pareti, collegate alle fondazioni con angolari metallici distribuiti lungo lo sviluppo della parete e con hold-down alle estremità della parete.

In alternativa sopra il cordolo di fondazione viene posato un cordolo di legno, generalmente realizzato con una specie legnosa durabile (ad es. legno massiccio o lamellare di larice) collegato alle strutture di fondazione con tirafondi in acciaio fissati con resina epossidica o cementizia e sopra questo vengono posate le pareti che vengono collegate con viti autoforanti inserite inclinate dai due lati della parete.

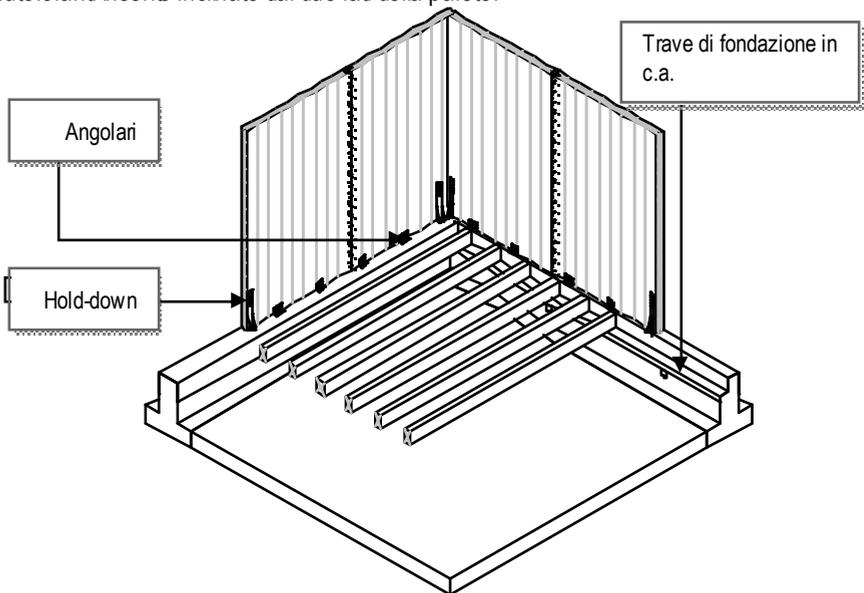


Figura 2.24: Collegamento alle fondazioni per un edificio XLam con angolari metallici distribuiti e hold-down.

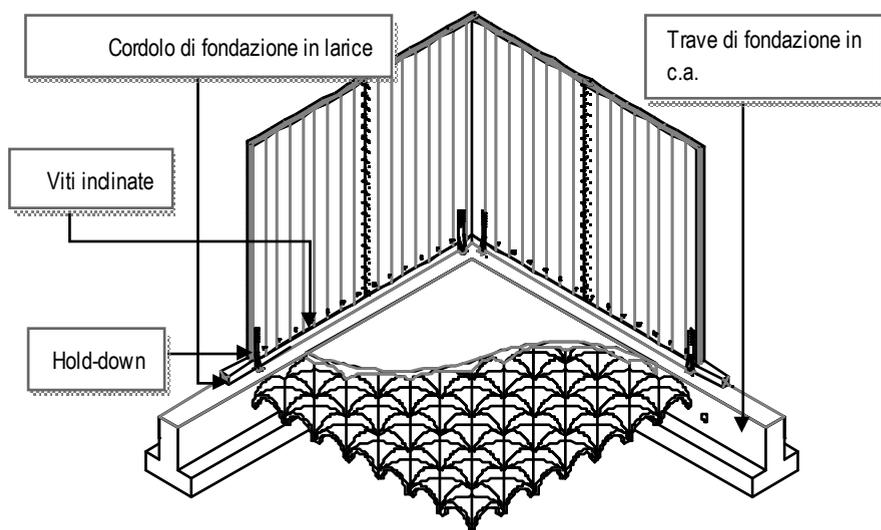


Figura 2.25: Collegamento alle fondazioni per un edificio XLam con cordolo di larice, tirafondi, viti e hold-down.

Le pareti vengono realizzate o con un unico elemento dotato di tutte le aperture per porte e finestre con l'unica limitazione sulla lunghezza data dalle esigenze di trasporto (normalmente sotto gli 11 m o talvolta anche fino a 16 m), oppure mediante l'assemblaggio di più pannelli (normalmente di larghezza uguale o inferiore ai 3m) collegati fra di loro mediante collegamenti meccanici realizzati con l'utilizzo di strisce di pannello multistrato o con giunti a mezzo-legno fra i pannelli e viti o chiodi.

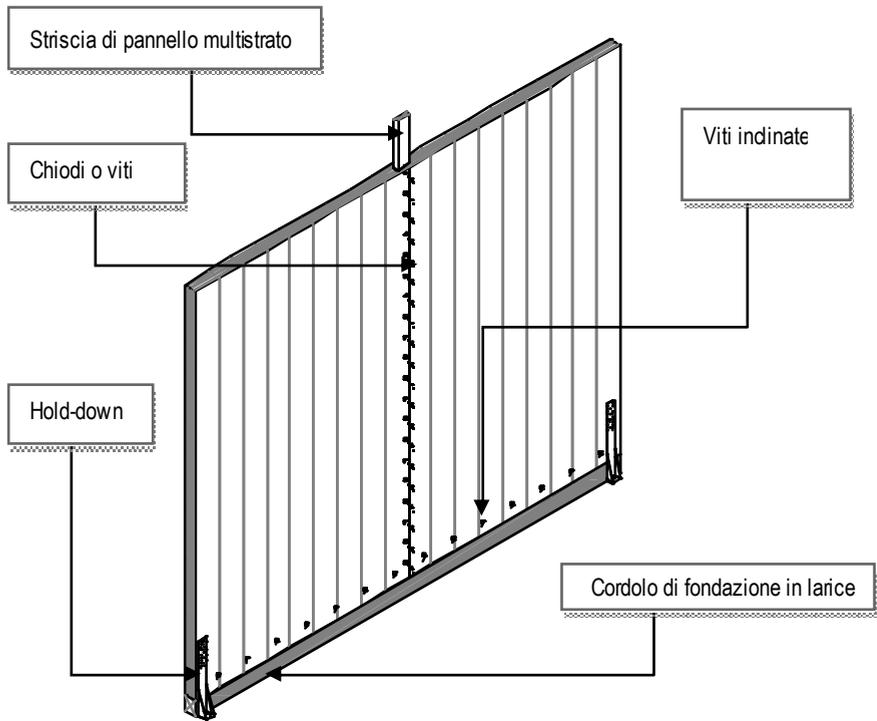


Figura 2.26: Dettaglio di una parete XLam con giunto verticale tra i pannelli tramite viti autoforanti o chiodi.

Le aperture vengono ricavate tra i pannelli che compongono la parete e l'architrave (e il parapetto per le finestre) vengono realizzati con elementi pannello disposti con orditura delle tavole in orizzontale e alloggiati e collegati in sedi ricavate nei pannelli laterali. Nel caso di parete composta da un unico pannello queste vengono ricavate pre-tagliando direttamente il pannello in stabilimento.

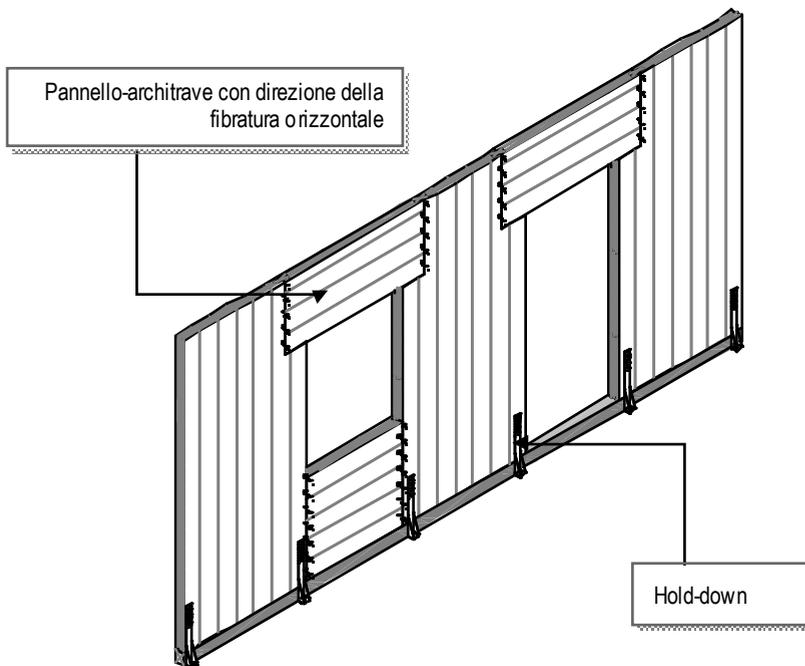


Figura 2.27: Dettaglio parete con aperture per porte e finestre.

La parete, come per il Platform, deve assolvere a diverse funzioni in relazione al suo comportamento strutturale e ai carichi ai quali è soggetta:

- resistenza ai carichi verticali;
- resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete (sisma, vento);
- resistenza ai carichi orizzontali agenti nel piano perpendicolare alla parete (vento).

La resistenza ai carichi verticali e alle azioni orizzontali ortogonali al piano della parete è devoluta ai pannelli che vengono sollecitati a pressoflessione. La resistenza a taglio per azioni orizzontali agenti nel piano della parete è sostanzialmente devoluta ai collegamenti (giunti verticali realizzati con strisce di pannello multistrato e viti o chiodi se presenti e hold-down e angolari, in quanto il pannello è molto più rigido e resistente dei collegamenti deformabili.

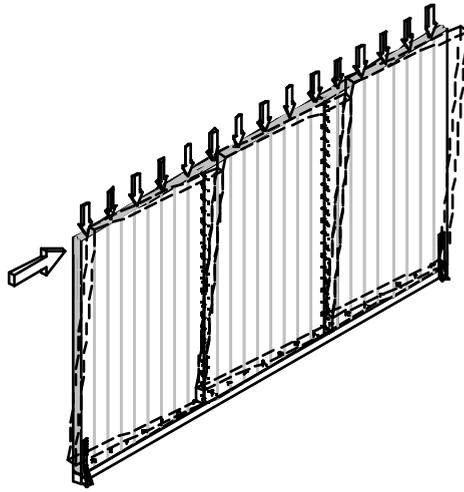


Figura 2.28: Parete X-Lam soggetta ad azioni orizzontali nel piano. I collegamenti verticali fra i pannelli che compongono la parete vengono sollecitati dallo stesso taglio per metro lineare che agisce sui collegamenti orizzontali fra i pannelli e il cordolo di base.

Per effetto delle stesse azioni orizzontali agenti nel suo piano, la stessa parete è soggetta ad azioni di scorrimento e sollevamento, le quali devono essere contrastate dagli elementi di collegamento alle fondazioni. La funzione di presidio al sollevamento è svolta dagli hold-down collegati con chiodi, normalmente ad aderenza migliorata, alla parete e con tirafondi in acciaio inserite in fori sigillati con malta epossidica o cementizia alla fondazione e posizionati alle estremità della parete e in corrispondenza delle aperture, e con angolari in acciaio o viti e tirafondi in acciaio di collegamento del cordolo inferiore della parete alla fondazione come elementi di presidio allo scorrimento.

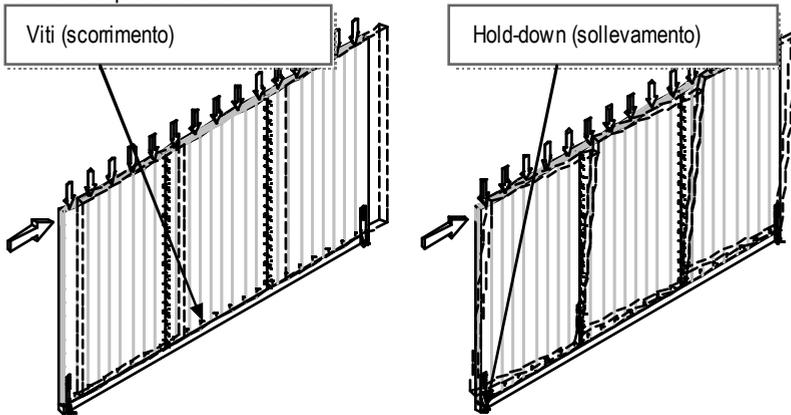


Figura 2.29: Parete X-Lam soggetta ad azioni orizzontali nel piano. Le azioni di scorrimento e sollevamento vengono contrastate mediante viti inclinate collegate al cordolo di base e hold-down.

La parete viene poi completata con l'inserimento dell'isolante nell'intercapedine della parete, il rivestimento interno realizzato con pannelli di cartongesso o fibrogesso e normalmente un cappotto isolante esterno sopra il quale viene realizzato il rivestimento esterno.

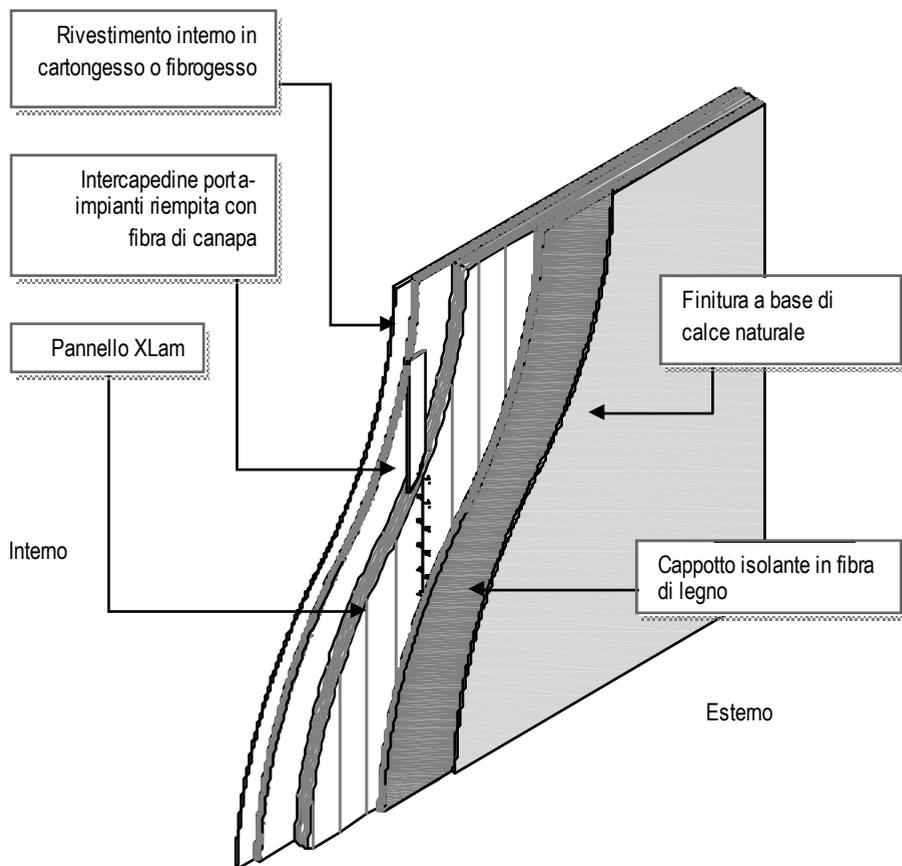


Figura 2.30: Esempio di pacchetto parete XLam completa.

Il collegamento fra pareti ortogonali viene realizzato con l'inserimento di viti autobforanti disposte ad interasse ravvicinato in modo da realizzare un collegamento rigido, in particolar modo agli angoli dell'edificio.

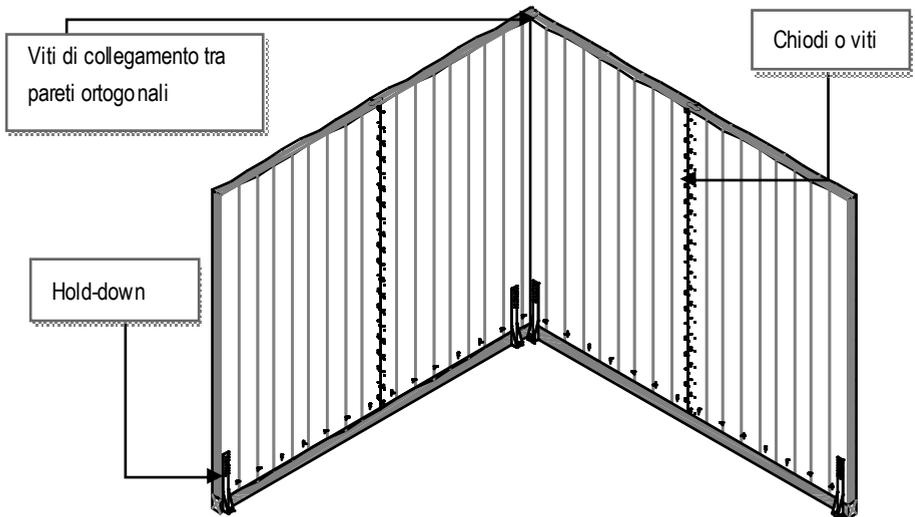


Figura 2.31: Collegamento d'angolo.

Una volta posate le pareti del piano terra vengono posati i pannelli del **solaio**. Questi per esigenze produttive e di trasporto hanno larghezze comprese tra 125 e 260 cm e vengono collegati fra loro con giunti meccanici realizzati con le stesse modalità utilizzate per il collegamento verticale dei pannelli parete. Anche in questo caso il collegamento viene realizzato mediante l'inserimento di viti autoforanti e chiodi disposti ad interasse ravvicinato in modo da realizzare un collegamento rigido nel rispetto della gerarchia delle resistenze. Il collegamento alle pareti sottostanti è realizzato sempre con viti autoforanti inserite inclinate rispetto al piano verticale della parete, in modo da intercettare più strati possibile e sempre ad interasse ravvicinato in modo da assicurare la realizzazione di un giunto sufficientemente rigido.

Sopra il pannello XLam viene posizionato un telo antipolvere, l'isolante in fibra di legno, carta oleata, massetto porta-impianti, riscaldamento a pavimento, secondo massetto e pavimentazione.

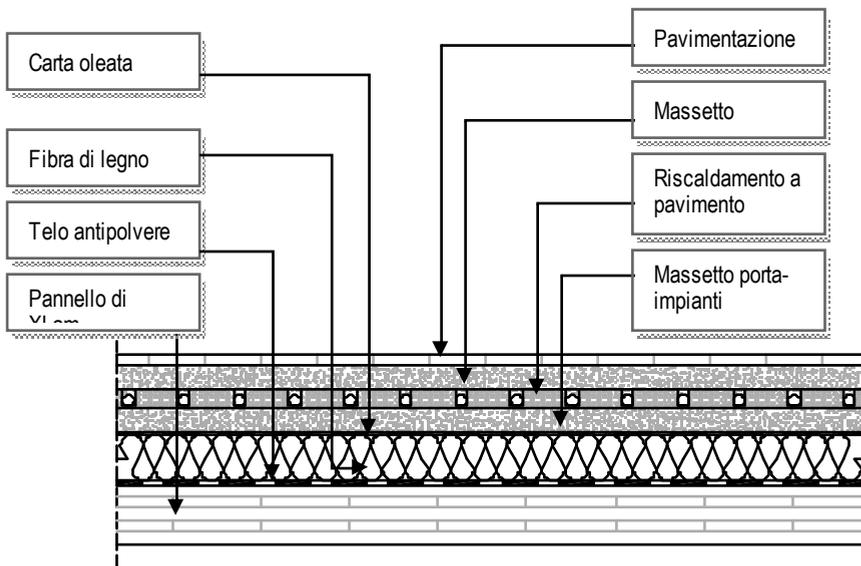


Figura 2.32: Esempio di pacchetto solaio.

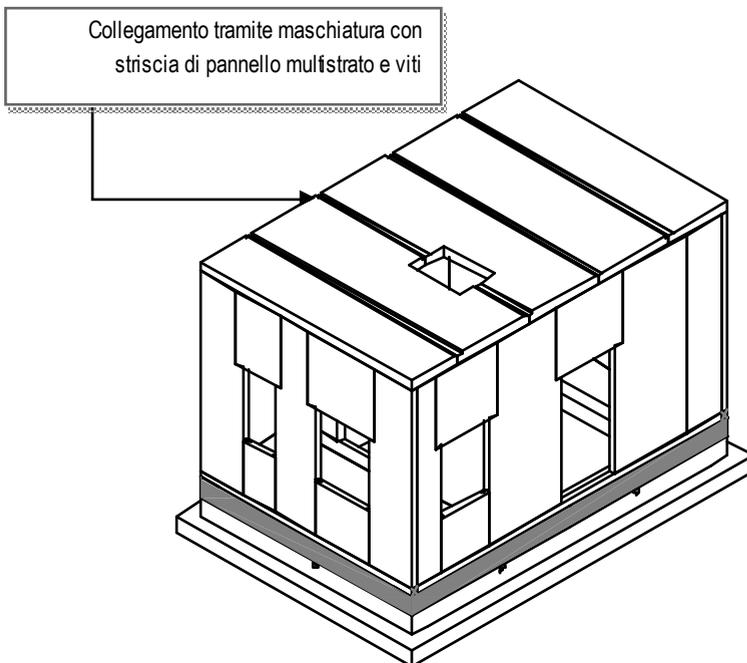


Figura 2.33: Posa del solaio di interpiano.

Una volta realizzato il primo solaio questo fa da piattaforma per il montaggio delle pareti del piano successivo. Le pareti del **piano successivo** vengono posate sopra il solaio e collegate a questo con le stesse modalità utilizzate per il collegamento alle fondazioni ma con mezzi di unione diversi. Per quel che riguarda gli hold-down, per le pareti interne andrà prevista una coppia di hold-down, uno collegato alla parete del piano inferiore e uno alla parete superiore, uniti fra loro con un bullone passante per le pareti interne, mentre per le pareti esterne può essere utilizzata una banda metallica forata collegata con chiodi alle pareti superiore e inferiore. Come elementi di presidio allo scorrimento si utilizzano ancora angolari metallici collegati con chiodi alla parete e con chiodi e viti al solaio, distribuiti lungo lo sviluppo delle pareti.

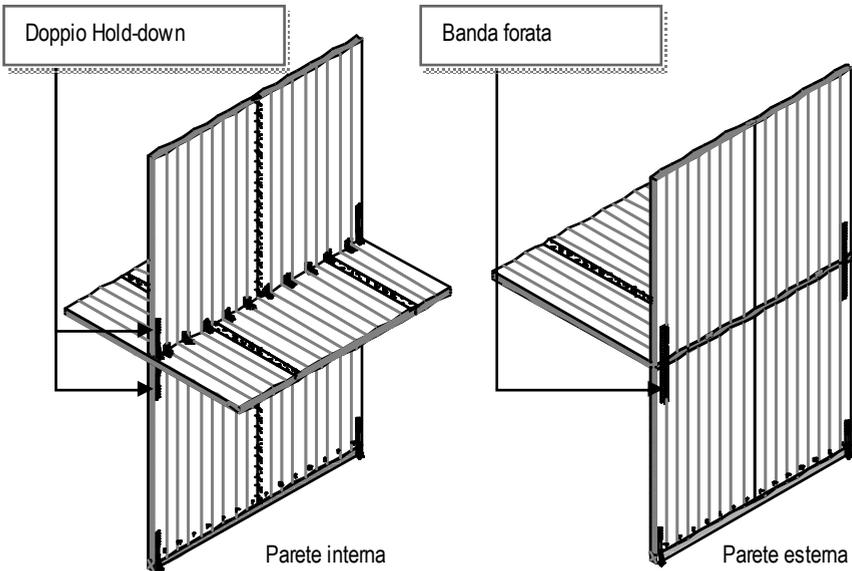


Figura 2.34: Collegamento pareti di interpiano.

La realizzazione delle strutture di **copertura** segue sostanzialmente le stesse possibilità applicative viste per il Platform, con l'unica variante che in questo caso è possibile realizzare una struttura di copertura con gli stessi pannelli, con l'inserimento di una trave di colmo o anche eventualmente di travetti secondari come rompitratta per le luci dei pannelli, e con le stesse modalità di collegamento viste per i solai.

Il pacchetto di copertura è composto, come nel caso del Platform, da barriera igrovariabile, di tenuta all'aria e antipolvere, isolante in fibra di legno, guaina traspirante, doppio listello per la ventilazione e manto di copertura.

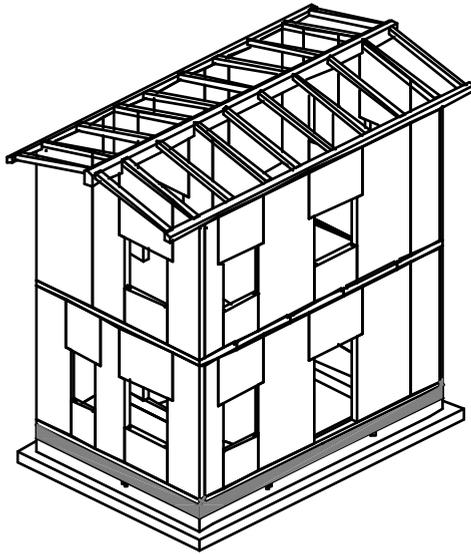


Figura 2.35: Copertura con struttura tradizionale.

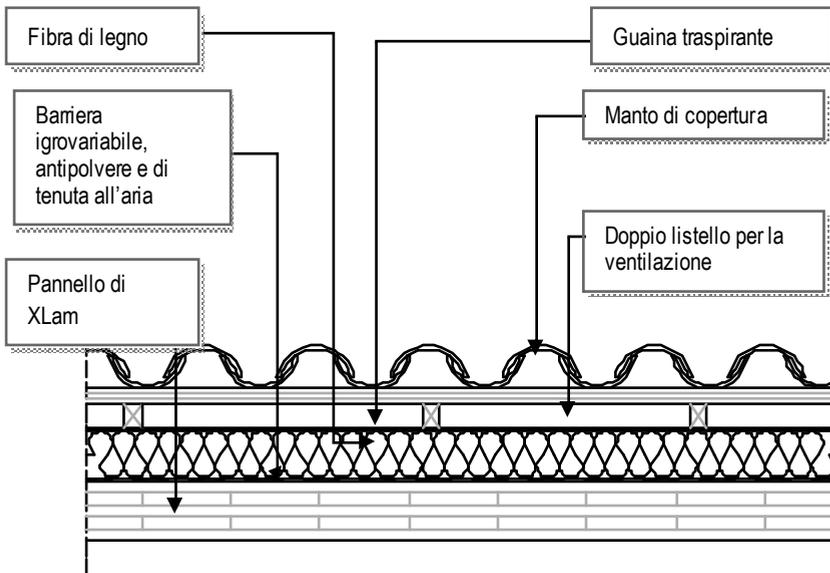
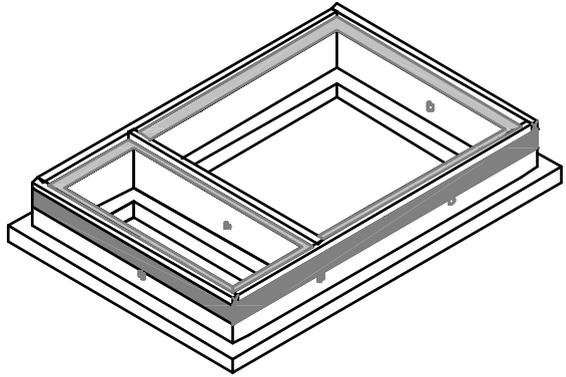


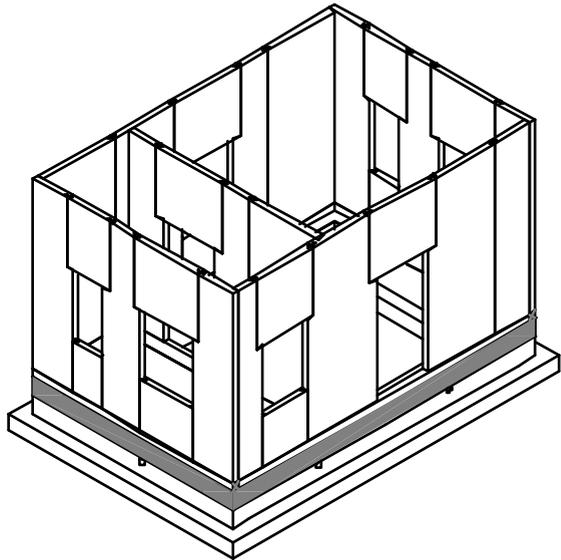
Figura 2.36: Esempio di pacchetto copertura.

Riassumendo le fasi di **montaggio** di un edificio Platform Frame possono essere schematizzate con la procedura seguente:

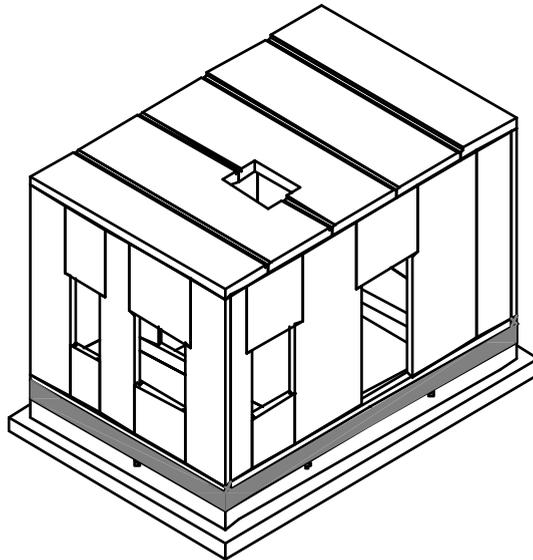
FASE 1: realizzazione cordoli o travi rovesce di fondazione in c.a., posa guaina e montaggio cordolo di legno.



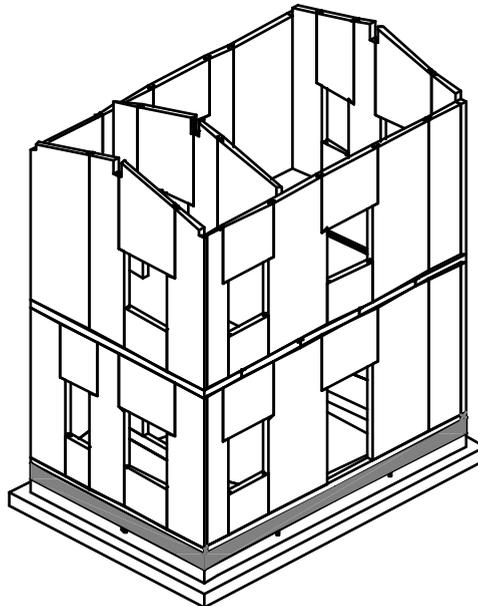
FASE 2: posa e collegamento pareti piano terra.



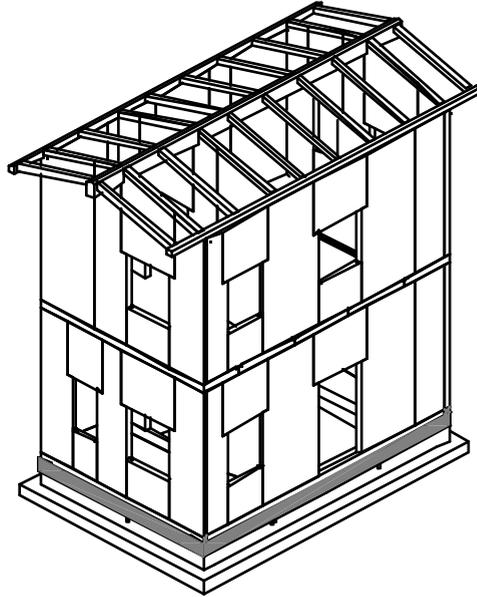
FASE 3: posa solaio
formato a pannelli e
collegamento tra pannelli e
alle pareti sottostanti.



FASE 4: posa e
collegamento pareti piano
primo e collegamento alle
pareti e al solaio
sottostante.



FASE 5: montaggio
copertura.



2.3.2.4 Comportamento al sisma e al fuoco

I recenti e tragici avvenimenti del 2009 in Abruzzo hanno portato ancora una volta alla ribalta il tema della sicurezza sismica. E anche grazie alla campagna di prove sperimentali condotte dal CNR-IVALSA in Giappone tra il 2005 e il 2007 nella quale sono state effettuate una serie di prove sismiche su edifici in dimensioni reali interamente a struttura di legno di 3 e 7 piani e agli ottimi risultati ottenuti, improvvisamente le strutture di legno e gli edifici di legno sono diventati di moda. Tutto a un tratto, anche grazie ad alcune semplificazioni geomalistiche, il legno è diventato nel linguaggio comune un "materiale antisismico". Ma esistono materiali antisismici?

La domanda è posta male. Non ha alcun significato parlare di materiali antisismici (ammesso che ne esistano), ha senso invece parlare semmai di "strutture antisismiche" ossia strutture ben progettate e correttamente realizzate in grado di resistere al "terremoto di progetto" previsto per il sito in cui verranno realizzate. E questo, in linea di principio, è possibile con qualsiasi materiale da costruzione.

Esistono però dei materiali che presentano alcune proprietà e caratteristiche che li rendono particolarmente adatti a realizzare strutture che resistono egregiamente alle azioni sismiche. E questo è il caso del legno.

Questo concetto era già noto nei primi decenni del secolo scorso, epoca in cui le costruzioni di legno avevano un larga diffusione in tutta Europa e anche nel nostro paese, come testimoniato dalle descrizioni dei gradi maggiormente distruttivi presenti nella scala Mercalli-Cancani-Sieberg del 1930, una delle prime scale sismiche mai esistite.

X Grado	COMPLETAMENTE DISTRUTTIVO: gravissima distruzione di circa $\frac{3}{4}$ degli edifici, la maggior parte crolla. Perfino costruzioni solide di legno e ponti subiscono gravi lesioni , alcuni vengono distrutti. Argini e dighe sono danneggiati notevolmente, binari leggermente piegati, tubature di impianti troncate, rotte o schiacciate. Crepe e fenditure profonde nei terreni poco densi e umidi, frane nei pendii e negli argini dei fiumi.
XI Grado	CATASTROFICO: crollo di tutti gli edifici in muratura, soltanto costruzioni e capanne di legno ad incastro di grande elasticità ancora reggono . Anche i più grandi e i più sicuri ponti crollano a causa della caduta di pilastri in pietra o del cedimento di quelli in ferro. Binari si piegano fortemente e si spezzano. Tubature vengono spaccate e rese irreparabili. Nel terreno si manifestano vari mutamenti di notevole estensione, dipendentemente dalla natura del suolo: grandi crepe e spaccature si aprono.
XII Grado	GRANDEMENTE CATASTROFICO: non regge alcuna opera d'uomo. Lo scombussolamento del paesaggio assume aspetti grandiosi. Flussi d'acqua sotterranei in superficie subiscono i mutamenti più vari: si formano cascate, laghi scompaiono, fiumi deviano.

Tabella 2.1: Descrizione degli ultimi gradi della scala Mercalli-Cancani-Sieberg del 1930.

Pertanto, nei primi decenni del secolo scorso uno dei metodi per valutare l'elevata intensità di un terremoto era dato dalla osservazione della sua capacità di produrre danni persino sulle strutture di legno.

Le prove eseguite in Giappone hanno ulteriormente confermato questo assunto, dimostrando come, seguendo criteri corretti di progettazione, edifici in legno di un numero ragguardevole di piani siano in grado di resistere a terremoti classificabili come catastrofici. E tutto questo a fronte danni minimi e facilmente riparabili ai soli collegamenti fra gli elementi strutturali.

Semplificando e sintetizzando il problema, le forze sismiche che agiscono su una struttura possono essere calcolate secondo la Legge di Newton, $forza = massa \times accelerazione$. È quindi evidente che strutture realizzate con materiali leggeri come il legno (col quale un tempo si costruivano gli aerei) avranno masse ridotte e quindi saranno interessate da forze sismiche minori. Per resistere a tali forze, seppur minori, le strutture dovranno possedere delle adeguate riserve di resistenza e da questo punto di vista il legno strutturale (ossia il legno classificato secondo la resistenza e soggetto alle stesse regole di qualificazione e agli stessi requisiti richiesti per gli altri materiali secondo le Norme Tecniche del 2008 che finalmente stabiliscono pari condizioni tra il legno e gli altri materiali da costruzione) non soffre certamente di "complessi di inferiorità" rispetto ad altri materiali da costruzione. Inoltre, e questo è un concetto un po' meno intuitivo, a livello di progettazione le strutture rigide sono interessate da forze sismiche maggiori rispetto alle strutture flessibili e deformabili, come è il caso delle strutture di legno. Le pagode giapponesi sono strutture totalmente in legno allo stesso tempo leggere, resistenti e flessibili, che possono arrivare anche a 50 m di altezza e diverse centinaia, in alcuni casi migliaia di anni di vita, costituendo esempi eccezionali al contempo di durabilità e di resistenza sismica.



Figura 2.37: Pagoda in un tempio Giapponese. Come l'albero che le sta davanti, la pagoda è in grado di resistere flettendosi e oscillando a terremoti devastanti senza crollare e spesso senza nemmeno subire danni rilevanti.

Oltre alle proprietà citate ne esiste una quarta, altrettanto importante, ossia la duttilità e la capacità di una struttura di dissipare l'energia trasferita dal sisma attraverso lo sviluppo di deformazioni in campo non lineare. Pur essendo il legno strutturale un materiale fragile (solo per alcuni stati di sollecitazione), nelle strutture di legno è possibile raggiungere elevati livelli di duttilità mediante l'utilizzo di connessioni meccaniche con elementi metallici (piastre metalliche, chiodi, viti e bulloni) per collegare i vari elementi strutturali di legno.

Tutte queste caratteristiche rendono le strutture di legno adatte alla realizzazione di edifici anche di molti piani che dimostrano un ottimo comportamento nei confronti dei terremoti. I risultati delle prove sperimentali eseguite anche recentemente (nel Luglio del 2009 è stata eseguita una campagna di prove sismiche presso la piattaforma sismica sperimentale più grande al mondo su un edificio di 6 piani costruito con il sistema Platform Frame, nell'ambito di un progetto di ricerca condotto dal Neeswood, un consorzio di cinque università americane, che ha dato eccellenti risultati sia in termini di resistenza che in termini di livelli di danneggiamento) ne sono solo una ennesima conferma.



Figura 2.38: Edificio di 6 piani a struttura di legno sottoposto a prove sismiche presso la tavola vibrante E-Defence a Miki, Kobe, Giappone (Luglio 2009, per gentile concessione del Prof. J. Van De Lindt). L'edificio è stato sottoposto più volte alla registrazione del terremoto di Northridge (California 1994) scalato fino ad una accelerazione massima di 0,88 g, corrispondente ad un terremoto con una probabilità di accadimento del 2% in 50 anni.

È un concetto noto oramai anche ai non addetti ai lavori l'ottimo comportamento al fuoco del legno. Pur essendo un materiale combustibile, il legno ha un processo di carbonizzazione molto lento (con velocità di carbonizzazione variabili dai 0,55 ai 1,0 mm/min a seconda della specie legnosa, della densità e del tipo di materiale o prodotto strutturale a base di legno, per tutte le superfici esposte) e la perdita di efficienza di una struttura di legno avviene per riduzione della sezione e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche, ossia quando per effetto della carbonizzazione la sezione si riduce talmente da non poter più assolvere alla sua funzione portante, in un tempo compreso fra pochi minuti e alcune ore.

Paradossalmente il punto debole di una struttura di legno nei riguardi dell'incendio sono le unioni meccaniche realizzate con elementi metallici di collegamento che, se non protette, sono le prime a cedere durante un incendio.

A prescindere dalla classe di resistenza al fuoco raggiunta dagli elementi strutturali di legno, l'Eurocodice 5, parte 1-2 stabilisce nel caso di unioni meccaniche non protette un classe di resistenza al fuoco massima pari a 20 minuti.

	Tempo di resistenza al fuoco $t_{d,f}$ min	Condizioni ^{a)}
Chiodi	15	$d \geq 2,8$ mm
Viti	15	$d \geq 3,5$ mm
Spinotti	15	$t_1 \geq 45$ mm
Bulloni	20	$t_1 \geq 45$ mm
Connettori secondo la EN 912	15	$t_1 \geq 45$ mm

a) d è il diametro del mezzo di unione e t_1 è lo spessore dell'elemento laterale.

Tabella 2.2: Resistenze al fuoco di unioni non protette con elementi laterali di legno [11].

Naturalmente lo stesso Eurocodice 5 indica i metodi di protezione e fornisce gli strumenti di calcolo per valutare la classe di resistenza al fuoco di un collegamento metallico protetto. Così come fornisce i procedimenti di progettazione per gli elementi assemblati di parete e solaio protetti dal fuoco con pannelli di rivestimento base di legno, o pannelli di cartongesso o fibrogesso.

Nell'ambito dello stesso progetto di ricerca citato in precedenza (Progetto SOFIE, condotto dal CNR-IVALSA e finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento), nel Marzo del 2007 è stata effettuata, sempre in Giappone, una prova di incendio reale su un edificio di 3 piani realizzato con il sistema XLam.



Figura 2.39: Un momento della prova durante la fase di incendio pienamente sviluppato (fonte www.progettosofie.it).

Le pareti dell'edificio erano costituite da pannelli XLam di 85 mm di spessore rivestite internamente con un doppio pannello di cartongesso fissato su una intercapedine porta-impianti di 40 mm di spessore riempita con lana di roccia, mentre all'esterno è stato realizzato un cappotto isolante in fibra di legno intonacato. I solai sono stati controsoffittati con pannelli di cartongesso.

La prova è stata effettuata facendo partire un incendio da una stanza posta al primo piano dell'edificio ipotizzata come stanza di albergo; le fiamme, come previsto, una volta che l'incendio si è pienamente sviluppato sono fuoriuscite dalle finestre, lambendo le pareti esterne fino ad arrivare al piano superiore. L'incendio ha interessato marginalmente le strutture dell'edificio e il fumo ed il fuoco non si sono assolutamente propagati agli alti locali. Dopo 60 minuti il fuoco è stato rapidamente estinto con l'uso di idranti.

Al termine della prova l'edificio ha riportato solo danni locali facilmente riparabili, dimostrando come un edificio di tre piani, interamente realizzato con struttura di legno e completato con i materiali costruttivi usualmente utilizzati per i rivestimenti sia interni che esterni (isolamento termico e acustico, infissi e finiture), potesse resistere ad un incendio reale della durata di un'ora senza subire alcun danno irreversibile alle strutture portanti e senza causare serio pericolo agli occupanti, dimostrando una perfetta tenuta non solamente nei confronti delle fiamme, ma anche nei confronti del pericolo di passaggio di fumi e propagazione dell'incendio da un ambiente all'altro.

2.4 AMPLIAMENTI E SOPRELEVAZIONI: INTERAZIONE TRA STRUTTURA IN LEGNO E COSTRUZIONI ESISTENTI

2.4.1 PREMESSA

In questo paragrafo si affronteranno gli aspetti normativi e tecnici legati agli interventi di ampliamento e di sopraelevazione sugli edifici esistenti con particolare riferimento all'utilizzo di strutture di legno, evidenziando, con una probabile casistica, le problematiche e i possibili approcci in funzione delle varie tipologie di interventi.

Le strutture di legno in genere mostrano un'elevata peculiarità ad essere utilizzate negli interventi sopra citati, sia perché dotate di una massa ridotta in rapporto alla resistenza sia per la facilità di messa in opera da un punto di vista operativo e tecnologico.

In particolare, la prima caratteristica rende in genere trascurabile, per alcune tecnologie, l'interazione con le strutture esistenti, specie se quest'ultime, come le costruzioni in muratura, sono dotate per loro natura di elevata rigidità nei confronti delle azioni orizzontali.

In ogni caso, non si potrà prescindere da una puntuale *valutazione* della struttura esistente, ovvero, da quel processo di conoscenza ed analisi che dalla *fattibilità* arrivi alla scelta della soluzione progettuale *più idonea* al tipo di intervento previsto.

Con l'attuale Normativa Tecnica per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008 [8] e Circolare esplicativa 617/2009 [9]) l'approccio sulle strutture esistenti, per alcune tipologie di intervento, impone questo passaggio, ovvero la valutazione preliminare dello "stato di salute" della costruzione che indichi il livello delle azioni a cui la struttura può rispondere con il grado di sicurezza richiesto dalla norma stessa. Per conseguire questo obiettivo la norma tecnica vigente indirizza ad un percorso con dei passi procedurali ben precisi, che vanno affrontati dalle primissime fasi progettuali in quanto diventeranno la base per qualsiasi proposta progettuale.

La normativa tecnica inoltre non impone limiti agli interventi di sopraelevazione e di ampliamento, impone però delle condizioni: alterando significativamente la distribuzione di massa e di rigidità della struttura originaria, ovvero trasformandone il comportamento con un insieme sistematico di opere, nei confronti delle azioni verticali (carichi gravitazionali propri, portati, di esercizio e neve) ed orizzontali (azione sismica e vento), allora è obbligatorio verificare che la struttura così alterata sia conforme ai livelli di sicurezza prescritti dalle norme ed in caso negativo adeguarla.

Questo aspetto produce inequivocabilmente una ricaduta in termini economici sul costo dell'intervento, che potrebbe diventare non più sostenibile e quindi non più *conveniente*.

In alcuni casi quindi, la convenienza va ricercata nella possibilità di apportare, con pochissime opere, un miglioramento in termini di sicurezza complessiva, alla struttura originaria.

In questo senso, fermo restando la finalità di garantire la sicurezza globale dell'immobile, riguardo l'obbligo di perseguire l'*adeguamento* o il *miglioramento*, è pare corretto poter arrivare a distinguere le varie tipologie di intervento in funzione dell'invasività, della tecnologia e dei materiali utilizzati.

Le presenti Linee Guida riguardano gli interventi da eseguirsi sugli Impianti Sportivi che possono essere ricompresi, ai sensi del Regolamento n. 36/R del 9/7/2009 [6], all'A tra gli *Edifici e opere infrastrutturali rilevanti* ai fini di un eventuale collasso, in quanto collocabili tra

quelli *adibiti ad attività sportive o ad esse funzionali e destinati al pubblico, con capienza utile superiore a 100 persone*. Da questo ne deriva l'obbligatorietà di procedere ad una *verifica sismica* della struttura consistente nella valutazione del grado di sicurezza alle azioni previste dalla normativa.

2.4.2 INQUADRAMENTO NORMATIVO E PROCEDURE AMMINISTRATIVE

Gli ampliamenti e le sopraelevazioni degli edifici esistenti costituiscono una disciplina connessa con la gestione del territorio ed è pertanto normata oltre che a livello nazionale anche a livello regionale.

Oltre alle norme di riferimento, come il Testo Unico dell'Edilizia di cui al D.P.R. 380/2001 [1] e le Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con D.M. del 14 gennaio 2008 [8], la Regione Toscana ha varato apposite leggi e regolamenti (L.R. 01/05 e relativo Regolamento di attuazione con D.P.G.R. 36/R/2009 [5]) con l'intento di dettare le norme per il governo del territorio al fine di *promuovere lo sviluppo sostenibile delle attività pubbliche e private che incidono sul territorio medesimo*.

Dopo l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni, la Regione Toscana ha istituito, con D.G.R. 606/2010 [12], un apposito Comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico, al quale partecipano le Facoltà di Ingegneria e di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Pisa ed i principali Ordini Professionali impegnati nella riduzione del Rischio Sismico. Gli obiettivi del CTS sono quelli di *fornire documenti interpretativi e linee guida* sia ai progettisti che ai tecnici istruttori degli uffici regionali del Genio Civile con l'intento di migliorare l'applicazione dei criteri di valutazione e riduzione del rischio sismico contenuti nel D.M. 14 gennaio 2008 e relativa Circolare 617/2009.

Fermo restando l'ammissibilità degli interventi in funzione degli strumenti normativi ed urbanistici vigenti, quelli di sopraelevazione sono disciplinati dall'art.90 del D.P.R. 380/01 e dall'art.102 della L.R. 01/05.

Il D.P.R. 380/01 all'art.90 indica che l'autorizzazione di tali interventi è *consentita previa certificazione del competente ufficio tecnico regionale che specifichi il numero massimo di piani che è possibile realizzare in sopraelevazione e l'idoneità della struttura esistente a sopportare il nuovo carico*.

L'art. 102 della L.R. 01/05 al comma 1 bis precisa che *fermo restando quanto previsto dagli articoli 105 e 105 ter, le sopraelevazioni di cui al presente articolo sono consentite solo previa certificazione del progettista che specifica l'idoneità della struttura esistente a sopportare il nuovo carico*.

Al comma 1 ter dello stesso articolo della Legge Regionale si precisa che *la certificazione di cui all'articolo 90, comma 2 del D.P.R. 380/2001 non è necessaria ai fini dell'autorizzazione per l'inizio dei lavori*, modificando pertanto il Testo Unico dell'Edilizia.

Inoltre, l'art.105 della L.R. 01/05, prescrive che i lavori di costruzione, riparazione o sopraelevazione, possono essere iniziati solo con la preventiva **autorizzazione scritta della struttura regionale competente in tutte le zone sismiche ad eccezione di quelle a bassa sismicità all'uopo indicate negli atti di cui all'articolo 96, commi 2 e 3**.

Per le zone a bassa sismicità (zone 3 e zone 3S) *gli uffici rilasciano un attestato per l'avvenuto deposito dei progetti verificando la completezza degli elaborati* (art.105 ter L.R. 1/05). Il controllo del progetto è effettuato a campione *nella misura del 10 per cento dei preavvisi pervenuti nello stesso periodo, mediante sorteggio*.

Inoltre, l'art. 96 comma 1 della suddetta legge stabilisce che *tutte le costruzioni la cui sicurezza possa comunque interessare la pubblica incolumità, da realizzarsi in zone dichiarate sismiche ai sensi dei commi 2 e 3, sono assoggettate, anche con riguardo ai loro aggiornamenti, alle specifiche norme tecniche emanate con decreti del Ministro delle infrastrutture ed i trasporti, [...].*

Ne consegue che il progettista deve attenersi ai criteri contenuti nel D.M. 14 gennaio 2008 inerenti il controllo della sicurezza sismica del fabbricato sul quale vengono realizzate le nuove opere (sopraelevazioni o ampliamenti) e che l'inizio dei lavori nelle zone sismiche a media ed alta sismicità (zone 2 e zone 2 ad alto rischio sismico) potrà avvenire solo con il preventivo rilascio dell'autorizzazione da parte della struttura regionale competente (Ufficio Provinciale del Genio Civile), ad eccezione di quelle a bassa sismicità (zone 3 e 3S) dove l'inizio dei lavori è consentito successivamente al rilascio da parte del suddetto ufficio dell'attestazione di deposito.

Norma urbanistica	Norma tecnica di riferimento	Zona sismica	Inizio lavori
D.P.R. 380/01 art.90	D.M.14/01/2008 Cap. 8 (ed. esistenti)	Bassa sismicità (zone 3 e 3S)	Dopo rilascio <i>attestazione deposito</i> da Genio Civile
L.R. 01/05 art.102 art.105	Circ. 617/2009 Cap. C8 Appendici C8A	Media ed alta sismicità (zone 2 e zone 2 alto rischio)	Dopo rilascio <i>autorizzazione</i> da Genio Civile

Tabella 2.3: Riepilogo inquadramento normativo e procedure amministrative per le sopraelevazioni e gli ampliamenti degli edifici esistenti

2.4.3 NORME TECNICHE: DISCIPLINA DEGLI INTERVENTI SULLE STRUTTURE ESISTENTI

Le costruzioni "esistenti" sono quelle la cui struttura sia completamente realizzata alla data della redazione della valutazione della sicurezza e/o del progetto di intervento.

Per le costruzioni in c.a. e in acciaio, con "struttura completamente realizzata" si intende quella per cui, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, sia stata redatta la relazione a struttura ultimata.

Per gli edifici in muratura, con "struttura completamente realizzata" si intende quella per cui, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, sia stato redatto il certificato di collaudo statico.

Il D.M. 14 gennaio 2008 al cap. 8 definisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.

In particolare definisce le possibili tipologie di intervento su una costruzione esistente, suddividendoli nelle seguenti categorie:

- **interventi di adeguamento:** permettono di ottenere i livelli di sicurezza previsti dalle Norme Tecniche;
- **interventi di miglioramento:** permettono di aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle Norme Tecniche;

- **riparazioni o interventi locali:** interessano elementi isolati e comunque comportano un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Solo i primi due interventi devono essere sottoposti **obbligatoriamente** a **collaudo statico**. In caso di **sopraelevazione** ed **ampliamento** (mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione) il D.M. 14 gennaio 2008 **obbliga alla valutazione della sicurezza** e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione esistente, qualunque sia il materiale e la tecnologia utilizzata per la costruzione dell'opera progettata.

In sintesi, le Norme Tecniche sulle Costruzioni e la relativa Circolare esplicativa descrivono così i possibili interventi:

Adeguamento:

Occorrerà obbligatoriamente procedere alla **valutazione della sicurezza** e, se necessario, all'adeguamento della costruzione, quando si intenda:

1. sopraelevare;
2. realizzare ampliamenti non adeguatamente giuntati;
3. apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%;
4. realizzare interventi strutturali che trasformano la costruzione in un organismo edilizio diverso dal precedente mediante un insieme sistematico di opere.

La **valutazione della sicurezza** sarà finalizzata a stabilire se la struttura, a seguito dell'intervento, sia in grado di resistere, con il grado di sicurezza richiesto dalle Norme Tecniche, alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle stesse.

96

Miglioramento:

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti quelli che:

1. variano significativamente la rigidità, la resistenza e/o la duttilità dei singoli elementi o parti strutturali e/o introducono nuovi elementi strutturali, così che il comportamento strutturale locale o globale, particolarmente rispetto alle azioni sismiche, ne sia significativamente modificato;
2. non rientrano nei casi in cui ricorrano le condizioni specificate per gli interventi di adeguamento.

Il progetto e la **valutazione della sicurezza** riguarderà, necessariamente, la struttura nel suo insieme, oltre che i possibili meccanismi locali.

Intervento localizzato:

Rientra tra gli interventi di riparazione o locali:

- qualunque intervento su un singolo elemento con variazione di rigidità non sostanziale per le azioni orizzontali;
- modeste variazioni di carichi;
- modeste variazioni di geometria;
- variazioni di materiali;
- riorganizzazione strutturale.

Per il **progetto** e la **valutazione della sicurezza** ci si potrà riferire alle singole parti interessate dall'intervento. Occorrerà inoltre documentare che, rispetto alla configurazione precedente l'intervento, non si producano sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che lo stesso comporti un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Qualunque sia il tipo di intervento da effettuare sull'edificio esistente la Circolare ribadisce l'**opportunità** di intervenire preliminarmente alla rimozione o riduzione delle **gravi carenze** strutturali (ad es. dovute a danni, ad errori di progettazione od esecuzione, a degrado, ecc.) e successivamente al rafforzamento della struttura esistente.

La valutazione della sicurezza degli edifici esistenti

In generale la **valutazione** della **sicurezza** di una struttura esistente è necessaria a determinare se è in grado o meno di resistere alle azioni di progetto combinate come previsto dalle Norme Tecniche o l'entità massima delle suddette azioni che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti.

La **valutazione** dovrà determinare il **livello di sicurezza** della costruzione **prima e dopo l'intervento** esplicitandolo in un'apposita relazione.

Essa è obbligatoria quando ricorre almeno una delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura);
- significativo degrado delle caratteristiche meccaniche dei materiali;
- azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni);
- funzionamento ed uso anomalo;
- cedimenti del terreno di fondazione;
- errori di progetto o di costruzione
- cambio della destinazione d'uso della costruzione (con carichi in aumento) e/o della classe d'uso;
- interventi non dichiaratamente strutturali che interagiscono con elementi strutturali;
- per qualunque intervento strutturale (intervento localizzato, miglioramento, adeguamento).

La *valutazione della sicurezza* va fatta per tutte le combinazioni di carico previste allo stato limite ultimo (SLU) e per la combinazione sismica allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), pertanto vanno considerate **le verifiche sia per carichi statici sia per azioni ambientali (vento, neve e sisma)**.

Alla base della necessità stessa di effettuare la *valutazione della sicurezza* vi è la ricognizione dei punti sopra elencati.

Tale ricognizione potrà avvenire con l'osservazione dell'edificio nella sua globalità ed eventualmente con l'aiuto del rilievo strutturale nel caso di miglioramento ed adeguamento. Nel caso di intervento localizzato potrà limitarsi alla parte oggetto d'intervento ed alle parti strutturalmente coinvolte.

Tipologia intervento	Dove (valutazione sicurezza)	Cosa e Quando	Come
Locale	Locale sugli elementi direttamente interessati dall'intervento e su quelli che possono esserne influenzati.	Verifiche locali sia statiche che sismiche (quest'ultime se necessarie), prima e dopo l'intervento	Livelli di sicurezza previsti dalle NTC2008 per gli SLU
Miglioramento	Locale sugli elementi interessati dall'intervento, su quelli che possono esserne influenzati, globale su tutta la struttura.	Verifiche locali e globali sia statiche che sismiche , prima e dopo l'intervento	Livelli di sicurezza previsti dalle NTC per gli SLU statici e <i>aumento</i> del coefficiente di sicurezza sismico ¹
Adeguamento	Locale su tutti gli elementi della struttura, globale su tutta la struttura.	Verifiche locali e globali sia statiche che sismiche dopo l'intervento	Livelli di sicurezza previsti dalle NTC2008 per gli SLU statici e sismici

Tabella 2.4: Riepilogo: valutazione della sicurezza in funzione degli interventi

98

L'esito della *valutazione della sicurezza* va esplicitato in una relazione redatta dal progettista che effettua la ricognizione degli aspetti che inducono a valutare la sicurezza e risponde attraverso una delle seguenti alternative:

- l'uso della costruzione può continuare senza interventi;
- l'uso deve essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- è necessario effettuare un intervento per aumentare o ripristinare la capacità portante.

Nella relazione vanno esplicitati i livelli di sicurezza attuali o raggiunti con l'intervento.

Nel caso di intervento locale la relazione va fatta solo sulle porzioni di struttura interessate dall'intervento.

Fasi procedurali nella valutazione della sicurezza, prima e dopo l'intervento

Le fasi procedurali indicate dalla normativa tecnica nell'approccio progettuale e di verifica su un edificio esistente sono le seguenti:

1. *Determinazione del livello di conoscenza della struttura:*
 - a) *Analisi storico-critica* (comprensente la ricerca dei dati).
 - b) *Rilievo geometrico - strutturale* (evidenziando eventuali dissesti in atto).
 - c) *Caratterizzazione meccanica dei materiali* (anche mediante prove sperimentali).

¹ Espresso in termini di periodo di riferimento di calcolo dell'azione sismica o dell'accelerazione di picco.

2. Assegnazione del fattore di confidenza e scelta del tipo di analisi.
3. Valutazione del grado di sicurezza della struttura allo stato attuale.
4. Ipotesi di intervento.
5. Valutazione del nuovo grado di sicurezza della struttura.

Determinazione del livello di conoscenza

a) *Analisi storico-critica (comprendente la ricerca dei dati).*

Uno dei maggiori problemi che si riscontra nella valutazione degli edifici esistenti è il reperimento dei progetti originali e/o di qualsiasi altro documento ufficiale utile a fornire una ricostruzione cronologica delle fasi progettuali e costruttive.

L'anno di costruzione, la cronologia degli interventi edificatori e quindi il loro inquadramento storico, urbanistico e normativo descritti dagli elaborati progettuali sono la principale fonte per inquadrare la tipologia, la tecnologia e le caratteristiche dei materiali dell'edificio in esame. Questa operazione potrebbe essere sufficiente a consentire una stima anche solo statistica della vulnerabilità sismica dell'edificio.

Oltre a questo, la ricerca dei dati va estesa, ove possibile, al reperimento della documentazione riguardante le fasi di costruzione, come il giornale dei lavori, la contabilità (in particolare il libretto delle misure), eventuali documentazioni fotografiche, che in genere sono reperibili solo per gli edifici che sono stati realizzati mediante appalto pubblico. Quest'ultima documentazione è da considerarsi al pari del progetto originario e può rendere conto dei materiali posti in opera, delle effettive sezioni strutturali realizzate, delle fasi esecutive dei lavori e della loro sequenza, dell'eventuale esistenza delle sospensioni e ripresa dei lavori durante fasi delicate delle lavorazioni come i getti di calcestruzzo per le strutture intelaiate e, ancora più importante, delle variazioni apportate al progetto iniziale che spesso non trovano riscontro in nessuna documentazione ufficiale.

b) *Rilievo geometrico - strutturale (evidenziando eventuali dissesti in atto).*

È chiaramente il passo fondamentale dell'acquisizione dei dati poiché concorre alla verifica dei documenti progettuali originali eventualmente in possesso.

Il rilievo ha lo scopo di determinare l'esatta geometria degli elementi strutturali (distinguendola da quella degli elementi portati, che comunque vanno rilevati e rappresentati) e dei dettagli costruttivi, come il caso della disposizione e tipologia delle armature metalliche all'interno di strutture od elementi in c.a. che richiedono dei veri e propri saggi. Dovrà essere adeguatamente rappresentato mediante piante, prospetti e sezioni e relativi particolari costruttivi di dettaglio.

Esso va completato con la rappresentazione grafica del quadro fessurativo o di degrado (ove presente), sintomo di dissesti in atto o già avvenuti, di cattive condizioni di esposizione e di manutenzione.

Il rilievo è inoltre basilare per la predisposizione di un corretto modello computazionale dell'intera struttura per la successiva analisi numerica.

Come si vedrà nel seguito, il rilievo geometrico - strutturale completo è l'unico elemento imprescindibile ai fini della determinazione del livello di conoscenza per la valutazione della sicurezza di una struttura. Altri aspetti, quali una maggior conoscenza dei dettagli costruttivi e delle proprietà meccaniche dei materiali, determineranno l'innalzamento del livello di conoscenza e quindi la riduzione dell'incertezza nella valutazione della sicurezza.

Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi (C8A.1.A.2)

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, etc.), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.).

Si distinguono:

Verifiche in situ	Descrizione
<i>Limitate</i>	Rilievi di tipo <i>visivo</i> mediante rimozione preliminare dell'intonaco e saggi nella muratura per esaminare le caratteristiche in superficie e nello spessore, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. I dettagli costruttivi di cui ai punti a) e b) possono essere valutati anche sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura. In assenza di un rilievo diretto, o di dati sufficientemente attendibili, è opportuno assumere, nelle successive fasi di modellazione, analisi e verifiche, le ipotesi più cautelative.
<i>Estese ed esaustive</i>	Rilievi di tipo <i>visivo</i> mediante rimozione preliminare dell'intonaco e saggi nella muratura per esaminare le caratteristiche in superficie e nello spessore, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. L'esame degli elementi di cui ai punti da a) ad f) è opportuno sia esteso in modo sistematico all'intero edificio.

100

c) Caratterizzazione meccanica dei materiali (anche mediante prove sperimentali).

Ai fini della caratterizzazione meccanica dei materiali il progettista dovrà predisporre apposito programma delle indagini le cui risultanze faranno parte integrante del progetto e/o della valutazione della sicurezza.

Le caratteristiche dei materiali possono essere tratte sia da specifiche riportate nei progetti originali che da certificati di prova originali; i valori delle resistenze meccaniche dei materiali potranno essere desunti da prove sulle strutture se queste effettuate in numero statisticamente significativo.

Per le costruzioni in muratura, considerata la difficoltà e la complessità di eseguire prove sperimentali che abbiano un certo grado di affidabilità, le caratteristiche meccaniche dei materiali possono essere prese dalla Tabella C8A.2.1 contenuta nell'Appendice C8A della Circolare 617/2009.

In linea generale, benché presenti sia specifiche indicazioni sui materiali nel progetto originale (che sarà conforme alle norme dell'epoca della costruzione), sia eventuali certificati di prova originali ed anche il certificato di collaudo statico, è sempre opportuno prevedere un

certo numero di prove sperimentali da eseguirsi in situ al fine di confermare o meno la qualità dei materiali.

Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali (C8A.1.A.3)

La qualità muraria deve essere valutata con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della "regola dell'arte".

Le principali caratteristiche che dovranno essere verificate e valutate in una muratura sono:

- la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (diatoni);
- la forma, tipologia e dimensione degli elementi (blocchi);
- la tessitura;
- l'orizzontalità delle giaciture;
- il regolare sfalsamento dei giunti;
- la qualità, caratteristiche e consistenza della malta (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e delle pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante prove sperimentali.

Si distinguono:

Indagini in situ	Descrizione
<i>Limitate</i>	<p>Servono a completamento delle informazioni già contenute nella Tabella C8A.2.1.</p> <p>Si basano su esami <i>visivi</i> della superficie muraria condotti dopo la rimozione di una zona di intonaco di almeno 1mx1m, al fine di individuare forma e dimensione dei blocchi, preferibilmente eseguita negli angoli al fine di verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie. Da valutare anche la compattezza della malta e il possibile comportamento monolitico della muratura in funzione della qualità della connessione interna e trasversale attraverso saggi localizzati, che interessino lo spessore murario.</p>
<i>Estese</i>	<p>Estensione sistematica delle indagini di cui al punto precedente con saggi superficiali ed interni per ogni tipo di muratura presente.</p> <p>Prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, etc.), e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura (si veda la Tabella C8A.2.1 per le tipologie più ricorrenti).</p> <p>È opportuna una prova per ogni tipo di muratura presente.</p> <p>Metodi di prova non distruttivi (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, etc.) possono essere impiegati a complemento delle prove richieste.</p> <p>Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona.</p>
<i>Esaustive</i>	<p>In aggiunta alle precedenti verifiche visive, saggi interni ed alle prove di cui ai punti precedenti, si effettua una ulteriore serie di prove</p>

	<p>sperimentali che, per numero e qualità, siano tali da consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura.</p> <p>La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante esecuzione di prove, in situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio).</p> <p>Le prove possono in generale comprendere prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio.</p> <p>Metodi di prova non distruttivi possono essere impiegati in combinazione, ma non in completa sostituzione di quelli sopra descritti.</p> <p>Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona.</p>
--	---

Per le **costruzioni in c.a. ed in acciaio** la normativa riporta nelle Tabella C8A.1.3a C8A.1.3b le prove opportune nei diversi casi (Tabella 2.5).

102

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella 2.5: tabella C8A.1.3a - Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei collegamenti)(a)	Prove (sui materiali) (b)
Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)		
Verifiche limitate	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche estese	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

Tabella 2.6: tabella C8A.1.3b - Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in acciaio

La Circolare esplicativa 617/2009 [9] specifica che le percentuali sopra riportate ed il numero dei provini hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, considerando che:

- nel raggiungimento delle percentuali legate al rilievo dei dettagli costruttivi è possibile tener conto delle situazioni ripetitive;
- le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione; le prove sui tondini di acciaio dovranno riguardare i principali diametri utilizzati negli elementi principali della struttura;
- ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive;
- il numero di provini riportato nella tabella C8A.3a può essere variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale.

Assegnazione del fattore di confidenza e scelta del tipo di analisi

I tre aspetti sopra analizzati determinano il *livello di conoscenza LC* da attribuire alla costruzione esistente, *LC1*, *LC2* o *LC3* crescente nel senso di una maggior conoscenza dell'edificio, a cui corrisponde un determinato *fattore di confidenza FC* che vale rispettivamente 1,35, 1,20 ed 1,00.

Questi *fattori* sono usati alla stregua di ulteriori coefficienti di sicurezza che vanno a dividere le resistenze medie dei materiali al fine di determinare la *capacità* della sezione o dell'elemento da confrontarsi con la *domanda* in termini di deformazione o di sollecitazione.

È evidente che **più elevato** è il **livello di conoscenza** di una struttura e **minore** sarà l'**incertezza** da applicare sulle resistenze dei materiali.

È opportuno precisare che il **conseguimento di un determinato livello di conoscenza sarà funzione degli obiettivi preposti** e potrà interessare l'intera costruzione o una sua parte secondo l'estensione o l'importanza dell'intervento previsto.

L'ottenimento di livelli di conoscenza sempre più accurati presuppone l'aumento del numero di saggi strutturali al fine di indagare un maggior numero di dettagli costruttivi e l'aumento

delle indagini sperimentali sui materiali e sulle strutture al fine di meglio caratterizzare le proprietà meccaniche dei materiali stessi.

Questi approfondimenti se da una parte possono costituire un maggior onere economico, in molti casi hanno il pregio di consentire preliminarmente una miglior valutazione del livello di sicurezza iniziale della struttura e in fase di progetto di poter calibrare con più certezza gli interventi riducendone, in molti casi anche drasticamente, i costi.

Per gli **edifici in muratura** è molto complesso raggiungere il massimo livello di conoscenza (LC3) della struttura a causa della difficoltà e spesso dell'impossibilità ad eseguire alcune delle indagini sperimentali in situ richieste per queste strutture e per quel livello di conoscenza.

Non è lo stesso per gli **edifici in c.a.** dove il raggiungimento del più elevato livello di conoscenza (LC3), relativamente alla caratterizzazione dei materiali, non è altro che un'estensione delle stesse indagini da eseguirsi anche per il raggiungimento del livello intermedio (LC2).

Nell'Allegato C8A APPENDICE AL C8 della Circolare esplicativa 617/2009 sono riportati in dettaglio i dati necessari per l'identificazione e l'attribuzione del Livello di Conoscenza di una struttura esistente, sia essa di muratura, c.a. o acciaio.

La relazione tra livelli di conoscenza, metodi di analisi e fattori di confidenza per gli **edifici esistenti in muratura** è riportata nella tabella C8A.1.1 (Tabella 2.7).

Per gli **edifici esistenti in conglomerato cementizio armato e in acciaio** la relazione tra livelli di conoscenza, metodi di analisi e fattori di confidenza è riportata nella tabella C8A.1.2 (Tabella 2.8).

Per gli edifici in c.a. ed in acciaio i livelli di conoscenza sono così denominati:

- LC1: Livello di conoscenza limitato;
- LC2: Livello di conoscenza adeguato;
- LC3: Livello di conoscenza accurato.

Capitolo 2: Comportamento strutturale e criteri di progettazione

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2			Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

Tabella 2.7: tabella C8A.1.1 - Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

Tabella 2.8: tabella C8A.1.2 - Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in c.a. e in acciaio

106 Metodi di analisi e valutazione del grado di sicurezza della struttura

Da quanto riportato in precedenza con le due tabelle riepilogative si osserva che il livello di conoscenza LC della costruzione non influenza la scelta del tipo di analisi negli edifici in muratura, mentre lo condiziona per gli edifici in c.a.

Ricordiamo che la tipologia di analisi ammesse sono per gli edifici esistenti le stesse che valgono per i nuovi edifici, ovvero:

- *analisi statica lineare;*
- *analisi dinamica lineare*
- *analisi statica non lineare*
- *analisi dinamica non lineare.*

L'analisi più comunemente usata per la valutazione della sicurezza degli edifici esistenti è senza dubbio, almeno per quelli con struttura portante in muratura, l'analisi statica non lineare detta anche *push-over*.

Tali analisi permettono di indagare il comportamento sismico di una struttura, al progredire del danneggiamento, fino a predire la massima resistenza e il relativo meccanismo di collasso, con un onere computazionale e facilità interpretativa notevolmente vantaggiose rispetto a qualsiasi altro approccio.

L'analisi *push-over* viene ottenuta come analisi incrementale della struttura soggetta ad una distribuzione di forze laterali crescente fino al determinarsi di una condizione che possa ritenersi rappresentativa del collasso strutturale.

La scelta del tipo di analisi non è così banale come può sembrare in quanto, al di là delle singole difficoltà esecutive (che sono in genere lasciate al programma computazionale utilizzato), non sempre esiste una congruenza tra i vari metodi proposti.

Costruzioni esistenti in muratura - requisiti di sicurezza

Per gli edifici esistenti in muratura oltre alle valutazioni di carattere globale, devono essere effettuate anche le verifiche dei meccanismi locali, ovvero di quei meccanismi che suppongono il collasso di una parte ben localizzata della struttura e che non chiamano al comportamento globale della stessa. Fanno parte di questa categoria tutti i meccanismi di ribaltamento fuori dal piano che possono essere impediti dalla presenza di opportuni collegamenti sulla sommità dei paramenti stessi, costituiti sia da vincoli diffusi come i cordoli sia da collegamenti di tipo puntuale come nel caso dell'inserimento di catene metalliche.

Costruzioni in c.a. - requisiti di sicurezza

L'analisi globale dovrà valutare in maniera appropriata sia la duttilità che la resistenza adottando parametri di capacità appropriati per i meccanismi resistenti cosiddetti "dutili" e "fragili".

I primi sono quelli che relativi alle travi, ai pilastri ed alle pareti inflesse, i secondi invece sono relativi ai meccanismi di taglio in travi, pilastri e nodi trave-pilastro.

Passi principali per un intervento di adeguamento/miglioramento

Così possono essere sintetizzati i passi procedurali necessari alla progettazione di un intervento di adeguamento o di miglioramento:

1. Verifica strutturale prima dell'intervento (*valutazione della sicurezza*);
2. Identificazione delle carenze strutturali;
3. Determinazione del livello di azione sismica per il quale si raggiunge lo stato limite ultimo (SLU) e, se richiesto, lo stato limite di esercizio (SLE) (*livello di sicurezza prima dell'intervento*);
4. Scelta dell'intervento e suo dimensionamento preliminare;
5. Analisi strutturale post-intervento (*valutazione della sicurezza*);
6. Individuazione del nuovo livello di azione sismica per il quale si raggiunge lo SLU (livello di sicurezza post intervento).

In generale, *gli interventi previsti dovranno preliminarmente prevenire l'instaurarsi di meccanismi locali (nelle murature) e di meccanismi fragili.*

2.4.3 SOPRA ELEVAZIONI ED AMPLIAMENTI: GLI ORIENTAMENTI INTERPRETATIVI DELLA REGIONE TOSCANA

Al paragrafo precedente è stato descritto l'approccio normativo nella *valutazione della sicurezza* di un edificio esistente.

Nella progettazione di un qualsiasi intervento che riguarderà l'edificio, a meno che questo non sia completamente giunto rispetto ad esso, dovrà essere effettuata una serie di passi operativi più o meno importanti a seconda dell'entità e del tipo di intervento che si andrà a progettare.

Nonostante che la normativa imponga per certi interventi l'adeguamento e/o il miglioramento vi sono dei casi in cui oggettivamente, sia per l'entità, sia per la tecnologia che per i materiali utilizzati, è possibile adottare un'interpretazione meno vincolante.

Molte Regioni hanno emanato apposite linee guida e circolari in proposito dove sono riportati diversi orientamenti normativi in funzione di una specifica casistica di intervento sulle strutture esistenti.

Capitolo 2: Comportamento strutturale e criteri di progettazione

La Regione Toscana ha ritenuto necessario, tramite l'istituzione di un apposito comitato tecnico scientifico, fornire alcuni elementi interpretativi in merito all'applicazione di alcuni casi specifici, specificando che le indicazioni riportate non sono vincolanti e potranno essere oggetto di adattamento al caso in esame in fase di progettazione mediante adeguate valutazioni da parte del progettista.

In sintesi gli orientamenti interpretativi della Regione Toscana riguardo alle addizioni volumetriche in copertura indicano:

Tipo di intervento	Limiti ammessi e disciplina interventi
<i>Addizione volumetrica in copertura</i>	Parametri: <ul style="list-style-type: none"> - volume fino al 10% del volume esistente alla stessa quota; - superficie in pianta fino al 10% della superficie coperta alla medesima quota; - masse fino al 5% della massa presente compreso i carichi di esercizio; - altezza max 3m e comunque < H preesistente: <p style="text-align: right;">→ intervento locale</p>
<i>Locali tecnici</i>	Parametri: <ul style="list-style-type: none"> - volume fino a 30mc se in <i>struttura leggera</i>; - masse fino al 3% della massa presente: <p style="text-align: right;">→ intervento locale</p>
<i>Addizione volumetrica in copertura</i>	Parametri: <ul style="list-style-type: none"> - volume > 10% del volume esistente alla stessa quota; - superficie in pianta fino al 30% della superficie coperta alla medesima quota; - incremento dei carichi globali in fondazione fino all'8%; - altezza max 3m. <p style="text-align: right;">→ miglioramento</p>

Tabella 2.9: Riepilogo orientamenti interpretativi Regione Toscana circa le addizioni volumetriche in copertura [9]

Oltre a questi, nel documento *Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione su edifici esistenti* [13], possono essere di interesse le seguenti indicazioni relative agli interventi di *modesta entità*, come ad esempio:

- **logge, verande, porticati:**

la realizzazione di tali strutture, generalmente in connessione ad edifici esistenti, può essere considerata come non significativa per l'edificio esistente, e quindi classificata come "intervento locale", se ricorrono le seguenti condizioni:

- la profondità della loggia sia inferiore a 300cm;
- la superficie coperta della loggia sia inferiore a 20,00mq;
- il rapporto tra la superficie della loggia e quella del piano sia inferiore al 15%;
- la copertura sia realizzata con materiali leggeri (max 100kg/mq) e non sia praticabile.

Si dovrà tenere conto di altri analoghi interventi già eseguiti con riferimento alla situazione originaria dell'edificio.

In tale tipologia possono rientrare anche le **scale esterne**.

- **scale esterne ed impianti ascensore:**
 - ai fini della trasmissione delle azioni orizzontali, sarà possibile ancorare tali manufatti alle strutture esistenti, senza procedere a verifiche globali (miglioramento o adeguamento) per l'edificio esistente;
 - gli effetti reciprocamente trasmessi devono essere sostanzialmente trascurabili sia in termini di massa che di rigidità;
 - gli ancoraggi dovranno comunque essere correttamente dimensionati;
 - le scale esterne di altezza maggiore di **tre metri** sono di norma da ritenersi "**nuove costruzioni**" e quindi soggette a collaudo statico.

2.4.4 INTERAZIONE TRA STRUTTURE NUOVE ED ESISTENTI: LE STRUTTURE MISTE

Premessa

Da un punto di vista sismico per *struttura mista* si intende un sistema costruttivo nel quale elementi strutturali di diversa tecnologia concorrono all'assorbimento dell'azione sismica.

Da non confondersi con il caso in cui l'accoppiamento di strutture a diversa tecnologia concorre alla capacità portante per carichi verticali, come nel caso degli impalcati e delle coperture lignee utilizzati generalmente nelle costruzioni in muratura, oppure dei sistemi accoppiati legno-calcestruzzo utilizzati per il consolidamento dei solai lignei.

Si parla quindi di *strutture miste* per quei sistemi costruttivi disposti in *parallelo* (vedi Figura 2.40): l'azione sismica si ripartisce tra gli elementi in proporzione alle rispettive rigidità fino al raggiungimento del limite elastico di una delle due tipologie. Oltre questo limite l'azione sismica si trasferisce verso l'elemento non ancora plasticizzato.

Tale condizione è possibile ritrovarla ad esempio negli interventi di ampliamento non giuntati.

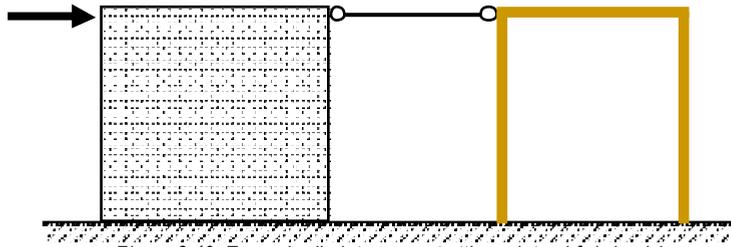


Figura 2.40: Esempio di sistema costruttivo misto ai fini sismici.

Diverso è il caso di comportamento strutturale in *serie* (vedi Figura 2.41), ovvero quando gli elementi a diversa tecnologia concorrono all'assorbimento dell'azione sismica essendo disposti almetricamente a quote diverse.

Potrebbe sorgere il problema di definire il moto sismico in quota e quindi la distribuzione delle azioni che tengano conto della distribuzione irregolare di rigidità in elevazione.

Se la struttura sottostante fosse sufficientemente rigida (come per le costruzioni in muratura o a pareti in c.a. ad un piano) l'azione sismica si trasmetterebbe tra l'elemento superiore e quello inferiore senza ripartizione. Nel caso in cui si procedesse mediante analisi (dinamica)

lineare con fattore di struttura q , sarebbe possibile procedere con due analisi distinte, ognuna con fattore di struttura relativo alla parte di edificio che di volta in volta si sta analizzando (anche se con una limitazione per la parte in sopraelevazione di diversa tecnologia), considerando comunque il modello numerico nella sua globalità.

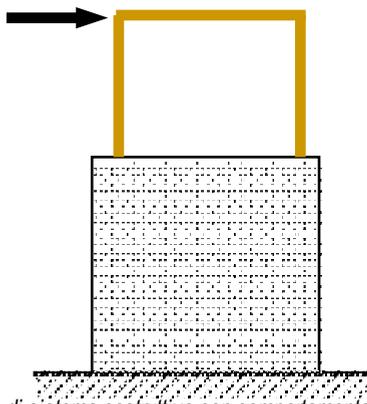


Figura 2.41: Esempio di sistema costruttivo con comportamento in serie ai fini sismici.

Il quadro normativo italiano per le strutture miste

Il quadro normativo italiano, fino a pochi anni fa, ha fornito indicazioni discordanti circa la ripartizione dell'azione sismica nelle strutture miste.

110

La prima volta in cui si parla esplicitamente di interazione strutturale tra componenti di diversa tecnologia e se ne indica una metodologia di analisi appare nell'ultima versione delle Norme Tecniche allegate all'O.P.C.M. 3274/2003, ovvero l'O.P.C.M. 3431/2005.

Il D.M. del 14 gennaio 2008 e la relativa Circolare n.617/2009 confermano quanto prescritto dalla precedente O.P.C.M. 3431, sia per quanto riguarda la ripartizione dell'azione sismica negli edifici a struttura mista muratura - c.a., sia per l'analisi sismica globale delle costruzioni in muratura, per la quale si deve considerare il sistema strutturale reale della costruzione, con particolare attenzione alla rigidezza e resistenza dei solai e all'efficacia dei collegamenti degli elementi strutturali.

Essa prescrive che nell'ambito delle **costruzioni in muratura** è consentito utilizzare strutture di diversa tecnologia finalizzate a sostenere i carichi verticali, purché la resistenza all'azione sismica sia integralmente affidata agli elementi con la stessa tecnologia.

Qualora si ritenesse necessario considerare la collaborazione delle pareti in muratura e dei sistemi di diversa tecnologia nella resistenza al sisma, quest'ultima dovrà essere verificata utilizzando i metodi di *analisi non lineare* (statica o dinamica) (§ 7.8.4 DM 14/01/2008).

Lo stesso paragrafo precisa l'obbligatorietà di verificare i *collegamenti fra elementi di tecnologia diversa* con specifica attenzione verso la *verifica dell'efficace trasmissione dei carichi verticali* e la necessità di *verificare la compatibilità delle deformazioni per tutte le parti strutturali*.

All'interno dello stesso punto si introduce, per la prima volta nella normativa tecnica italiana, la possibilità di effettuare strutture miste costituite da strutture murarie nella parte inferiore e da strutture di legno in quella superiore, sotto alcune condizioni, legate ai limiti in altezza della costruzione, al fissaggio della struttura posta al di sopra di quella muraria **ad essa**

corrispondente, all'applicabilità e utilizzo di metodi di *analisi statica, lineare e non*, all'utilizzo del fattore di struttura **q** nel caso di *analisi lineare* con indicazione di un valore limite di **q** per la sovrastruttura che dovrà tener conto oltre che della tipologia costruttiva anche dei requisiti di regolarità della parte superiore e della verifica dei collegamenti:

Se il D.M. del 14 gennaio 2008 parla più esplicitamente di strutture miste sostanzialmente disposte "in serie" (parte inferiore in muratura e parte superiore in altra tecnologia e materiale), la Circolare n.617/2009 introduce ciò che la norma aveva sottinteso, ovvero quello del funzionamento strutturale "in parallelo" che consiste nell'analoga disposizione altimetrica di strutture interagenti di diversa tecnologia e materiali:

Al Capitolo 8 del D.M. del 14 gennaio 2008 quando si parla di "edifici misti" (§ 8.7.3), pur non citando espressamente la possibilità di avere strutture esistenti in muratura, c.a. o acciaio e strutture di legno, si affrontano i casi sopracitati di sopraelevazione e quelli di ampliamento di un edificio esistente, dove l'attenzione viene giustamente puntata sulla modellazione e sul metodo di analisi utilizzato.

Aggiunge ancora qualcosa il corrispondente paragrafo della Circolare n.617/2009 (§ C8.7.3), che di fatto ammette per tali edifici solo l'analisi non lineare salvo trascurare il contributo resistente all'azione sismica di un'intera categoria di elementi dello stesso materiale (**elementi secondari**) se la sua interazione risultasse favorevole al comportamento globale della struttura mista.

Si riportano in un quadro sinottico le metodologie di analisi possibili per gli edifici a struttura mista, nuovi ed esistenti, esplicitamente previste dalla normativa vigente, con particolare riferimento all'abbinamento di strutture in muratura con quelle di legno.

Sistema costruttivo		Nuovo edificio		Edificio esistente	
		Metodi di analisi possibili		Metodi di analisi possibili	
		Lineare	Non lineare	Lineare	Non lineare
In serie	Sopra: Legno	Analisi separata (in termini di q) ma globale.	Interazione tra le due componenti strutturali	(P.to 8.7.3 NTC) "Ove necessario" si procederà con analisi non lineari"	
	Sotto: Muratura				
In parallelo	Legno	Struttura "secondaria"	Interazione tra le due componenti strutturali	(P.to C8.7.3 Circolare) Se l'interazione è "favorevole"	Interazione tra le due componenti strutturali
	Muratura	Alla muratura l'intera azione sismica			

Tabella 2.10: Riepilogo metodi di analisi su edifici a struttura mista

CONCLUSIONI

Il tema delle **sopraelevazioni** e degli **ampliamenti** delle **strutture esistenti** con **strutture di legno** è stato affrontato seguendo, in ordine, i seguenti aspetti:

- a) l'inquadramento normativo e le procedure amministrative relative agli interventi di ampliamento;
- b) le Norme Tecniche per le Costruzioni e la disciplina degli interventi sulle strutture esistenti;
- c) gli orientamenti interpretativi della Regione Toscana (Comitato Tecnico Scientifico) in merito alle adduzioni volumetriche in copertura e agli interventi di modesta entità;
- d) l'interazione tra strutture nuove ed esistenti: il caso delle strutture miste.

Con il secondo aspetto si è illustrata la tematica degli interventi sulle strutture esistenti i quali, salvo casi molto particolari, devono partire, prima della fase progettuale vera e propria, da una *valutazione complessiva della sicurezza allo stato attuale* della struttura. Valutazione che porrà le basi alle successive fasi progettuali, in termini sia tecnici che economici.

La complessità dell'argomento e la molteplicità dei casi reali ha spinto la Regione Toscana ad individuare una casistica di possibili interventi sulle strutture esistenti che per invasività, tecnologia e tipologia costruttiva, possano rientrare tra le tipologie previste con l'intervento di *miglioramento*, in cui al massimo si debba innalzare il livello di sicurezza complessivo della struttura esistente e non per forza adeguarlo al 100% dei livelli di sicurezza previsti.

In quest'ottica si possono collocare alcune tipologie di intervento di *sopraelevazione* ed *ampliamento* degli edifici esistenti con *struttura di legno*.

112

Riguardo la disciplina di questi interventi, la normativa tecnica vigente non pone come discriminanti l'uso di "strutture leggere".

La possibilità di usufruire di queste caratteristiche è espressa all'interno della stessa norma, quando al § 7.2.3 del D.M. 14 gennaio 2008 si introducono le strutture *non sismo resistenti* dette anche *secondarie*. Queste sono tali se vengono progettate per resistere ai soli carichi verticali, essendo ignorate in termini di *rigidezza* nell'analisi globale della risposta strutturale. La norma impone che tali strutture *devono essere in grado di assorbire le deformazioni della struttura soggetta all'azione sismica di progetto, mantenendo la capacità portante nei confronti dei carichi verticali*. Ecco perché comunque agli elementi secondari si applicano i particolari costruttivi definiti per gli elementi strutturali.

Ed inoltre, perché un elemento possa considerarsi secondario, occorre dimostrare che *in nessun caso la scelta degli elementi da considerare secondari può determinare il passaggio da struttura "irregolare" a struttura "regolare"*, ed ancora che *il contributo alla rigidezza totale sotto azioni orizzontali degli elementi secondari può superare il 15% della analoga rigidezza degli elementi principali*.

Questo significa che deve comunque essere effettuata una valutazione della rigidezza complessiva della struttura prima e dopo l'intervento e che la nuova struttura deve essere progettata in modo da interagire il meno possibile con la struttura esistente.

Nel caso, molto realistico, di *ampliamento in quota*, si possono distinguere due situazioni:

- a) ampliamento giuntab;
- b) ampliamento non giuntab.

A seconda della volumetria dell'ampliamento, si può ricadere o meno in intervento *locale*, in *miglioramento* o *adeguamento*.

Nel primo caso, l'intervento può essere valutato come per le *strutture in serie* (vedi Figura 2.41) in cui le possibili interazioni con la struttura esistente possono verificarsi solo al piede in termini di azioni verticali derivanti dai carichi gravitazionali, ed azioni orizzontali dovute prevalentemente all'azione sismica.

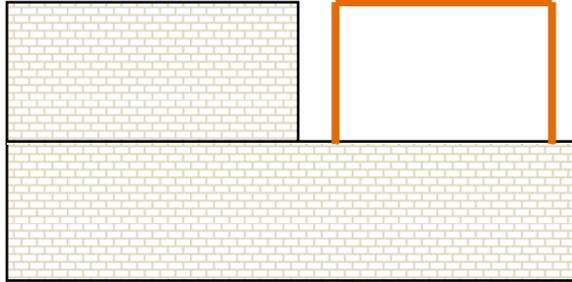


Figura 2.42: Caso a) - Ampliamento in quota giuntato

Nel secondo invece vale quanto detto per le *strutture in parallelo*. Poiché adesso esiste, al piano del collegamento, un'inevitabile interazione, tra le due strutture si tratta di stabilire se e come questa interazione può determinare un mutamento del comportamento dinamico della struttura originaria.

In generale sarebbe favorevole progettare le nuove strutture di legno come *strutture secondarie*, tentando, se possibile, di far ricadere l'intervento nella tipologia del *miglioramento*.

Per fare ciò occorre il verificarsi di una serie di condizioni:

- a) che con l'intervento **non si alteri il comportamento dinamico della struttura originaria**, ovvero che le modifiche apportate in termini di rigidità e massa rimangano limitate:
 - ad esempio si potrebbe verificare che la struttura originaria non subisca, in termini di spostamento, variazioni superiori al 10%;
 - oppure, che il periodo fondamentale della struttura rimanga pressoché inalterato;
- b) che l'intervento non comporti l'incremento di carichi globali in fondazione superiore al 10%.

La struttura originaria dovrà essere in grado di sopportare l'ampliamento oltre che da un punto di vista sismico anche e primariamente in termini di incremento del carico verticale.

L'attenzione sarà posta principalmente ai collegamenti della nuova struttura con quella esistente, che dovranno essere progettati per sollecitazioni comunque superiori a quelle derivanti dall'analisi.

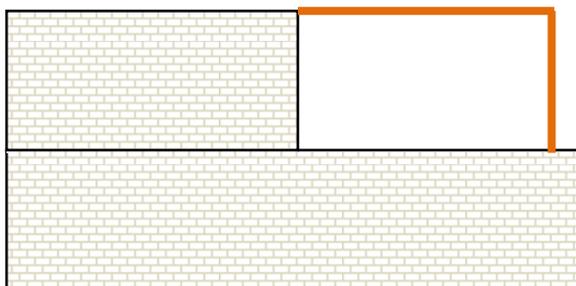


Figura 2.43: Caso b) - Ampliamento in quota non giuntato

Per le strutture in *paralelo*, riconducibili ad esempio ai casi di strutture in ampliamento ove non siano giuntate con quelle esistenti, occorre valutare caso per caso l'eventuale interazione alla luce sia della tipologia sia della tecnologia strutturale.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] AA. VV. Giunta Regionale Toscana, Direzione generale della Presidenza – “Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana”, 2009.
- [2] Brandizzi G., Carbone E. (a cura di) Edilizia per lo sport – Progettare Metodi Tecniche Norme Realizzazioni CONI - UTET Scienze Tecniche, 2004.
- [3] Ceccotti A., Follesa M., Lauriola M.P. (2006) Le strutture di legno in zona sismica - Criteri e regole per la progettazione ed il restauro, II ediz.; CLUT, Torino.
- [4] Ceccotti A. (2003), Il Manuale del Legno Strutturale, voll. 2 e 3 “Materiali, componenti e principi della progettazione”, Manòsu Editore, Roma.
- [5] D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380 “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.
- [6] Legge Regionale Legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 “Norme per il governo del territorio”.
- [7] Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico con D.P.G.R. 36/R/2009.
- [8] D.M. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- [9] DM 14 gennaio 2008 (pubblicato nella G.U. del 4 febbraio 2008, n.29) “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- [10] UNI EN 1995-1-1: Eurocodice 5 – “Progettazione delle strutture di legno – Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici”.
- [11] UNI EN 1995-1-2: Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio
- [12] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [13] Delibera Giunta Regione Toscana n.606 del 21 giugno 2010, Istituzione del Comitato Tecnico scientifico in materia di rischio sismico per la Regione Toscana ed approvazione del disciplinare.
- [14] Regione Toscana - Comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico, Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti, ratifica del 21/07/2010.
- [15] Regione Toscana - Comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico, NTC2008 - 01/2010 Quesiti esaminati, ratifica del 21/07/2010.
- [16] Comitato Tecnico Scientifico per il rischio sismico Regione Toscana, NTC2008 - 02/2010 Quesiti esaminati, ratifica del 02/03/2011

Capitolo 3

Isolamenti, rivestimenti e finiture

3.1 ISOLAMENTO TERMICO E RISPARMIO ENERGETICO

Una delle voci di costo importanti per la gestione delle strutture di supporto alle attività sportive è quella relativa ai consumi energetici per la climatizzazione degli ambienti.

Uno dei vantaggi derivanti dalla realizzazione degli edifici in legno sta proprio nella maggiore facilità con cui si realizzano le coibentazioni termiche, poiché il legno, in questo caso utilizzato come elemento strutturale, già di per se esprime discrete capacità isolanti, specie se confrontato con i materiali “tradizionali” come cemento armato, laterizio e pietra.

Vi è poi un altro aspetto legato alla buona progettazione che il legno si deve portare in dote: la progettazione dell'isolamento termico nelle costruzioni in legno non ha metodologie o tecniche differenti da quelle utilizzate nelle strutture in muratura, ma essa rientra negli aspetti progettuali di grande rilievo per poter assicurare alla struttura la massima durabilità possibile. Infatti una corretta scelta dei materiali isolanti, un corretto dimensionamento e posizionamento degli stessi possono influenzare gli scambi di umidità all'interno della struttura e quindi determinare la bagnatura o la pronta asciugatura degli elementi costruttivi. Contrariamente a quanto si è portati a credere, il legno può inumidirsi ma è importante che abbia la possibilità di asciugarsi velocemente: non è l'acqua in se ad essere dannosa, ma mantenere il legno in una situazione di umidità eccessiva avvia inevitabili processi degenerativi con conseguente e spesso irreparabile degradazione delle strutture lignee. Una corretta progettazione ed una attenta costruzione sono determinanti affinché gli scambi di umidità attraverso la struttura avvengano in chiave di efficienza e durabilità della struttura stessa.

117

Per procedere ad una puntuale valutazione dell'isolamento termico è necessario lavorare su tre aspetti fondamentali, che sono:

- **isolamento invernale** – ovvero la strutturazione di sistemi di isolamento che riducano al minimo le dispersioni di calore durante la stagione fredda
- **isolamento estivo** – ovvero i sistemi che riducano la potenza o, meglio, escludano gli impianti di raffrescamento
- **gestione della permeabilità al vapore** – cioè la definizione di strutture ove sia minimizzato il rischio di condense interstiziali e, nel caso quest'ultime si verificassero, capaci di pronta asciugatura.

Questi tre aspetti devono essere coniugati insieme poiché, normalmente, i risultati dovranno essere ottenuti con uno stesso materiale che dia il miglior risultato possibile per soddisfare le tre esigenze.

3.1.1 - ISOLAMENTO INVERNALE

L'isolamento invernale, dal punto di vista del calcolo, è verosimilmente la valutazione più semplice da fare poiché si opera in un regime sostanzialmente stazionario.

Il parametro utilizzato per valutare l'attitudine di un materiale ad isolare termicamente è la *Conduttività Termica* normalmente indicata con la lettera λ (lambda) e definisce l'attitudine di un materiale a farsi attraversare dal calore.

Materiale	Conduttività Termica [W/mK]
Aria (a condizioni ambiente)	0,026
Acqua distillata	0,60
Vetro	1
Ferro	73
Rame	386
Argento	407
Diamante	1000

Tabella 3.1: Conduttività termica di alcuni materiali

118

Un materiale viene considerato isolante quando ha un λ inferiore a 0,065 W/mK.

Materiale	Conduttività Termica [W/mK]
Fibra di vetro	0,037
Lana di roccia	0,036
XPS	0,036
EPS	0,034
Poliuretano espanso	0,028
Sughero espanso	0,040
Vetro cellulare	0,041
Fibra di legno	0,040

Tabella 3.2: Conduttività termica di alcuni materiali isolanti

La conducibilità termica è indipendente dallo spessore e dalla forma del materiale, mentre è intuitivo che all'aumentare della quantità del materiale isolante diminuirà la quantità di calore disperso.

La capacità isolante di un materiale in funzione dello spessore del materiale stesso, è definita dalla *Resistenza Termica*.

La formula della Resistenza Termica è:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

d = spessore dello strato

λ = Conduttività Termica del materiale

Le strutture sono solitamente composte da più strati di materiali diversi, caratterizzati da diverse Conduttività Termiche, diversi spessori e quindi diverse resistenze termiche.

La resistenza termica complessiva di una struttura composita si calcola come la sommatoria delle singole resistenze:

$$R_{Tot} = \sum R_{lim\ est}, R_{strati}, R_{lim\ int}$$

In questo calcolo viene inserita anche la resistenza termica offerta dallo strato di aria che lambisce le superfici interna ed esterna.

119

Per descrivere la quantità di calore che attraversa un elemento costruttivo, esiste un parametro detto *Trasmittanza Termica* (simbolo U). Si misura in W/m^2K , ovvero quanti Watt attraversano un elemento di un m^2 quando tra due facce vi sia una differenza di 1 grado Kelvin.

Per calcolare la trasmittanza termica si usa la seguente formula:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

Per la valutazione dell'isolamento invernale le due grandezze da prendere in considerazione sono la Conduttività Termica (λ) e lo spessore del materiale.

La posizione dell'isolante rispetto alla struttura, ai fini del calcolo, non ha alcuna influenza mentre ha grandissima importanza in funzione del controllo della migrazione del vapore e il conseguente rischio di condense interstiziali.

La tecnica comunemente utilizzata per isolare la parete esterna della costruzione in legno è quella del "cappotto", ovvero un pannello isolante estemo, intonacato, applicato per mezzo di vincoli meccanici (viti, chiodi, graffette) alla struttura.

Questo sistema permette di mantenere la struttura "calda" spostando il rischio della condensa interstiziale nella zona fredda dell'isolante ovvero la zona più estema dello stesso.

Comunemente si prevede la rasatura superficiale del pannello con malte e la successiva coloritura con finitura in pasta o pitture murali. Entrambi gli strati, sia rasatura che finitura superficiale, devono essere aperti alla diffusione per poter far sì che il pannello, eventualmente inumidito da acqua penetrata dall'esterno o da condense interstiziali, possa velocemente asciugarsi, ma, contemporaneamente, devono dare al sistema una buona protezione dalle piogge battenti sulla superficie del cappotto stesso.

3.1.2 - ISOLAMENTO ESTIVO

Se riscaldare una struttura rappresenta un motivo di dispendio energetico ed economico importante, il raffrescamento della stessa, oltre ai costi di impianto ed esercizio, vede come aspetto negativo l'insalubrità tipica degli ambienti raffrescati artificialmente.

Per ottenere risultati qualitativamente accettabili è necessario lavorare su quattro diversi aspetti:

- l'esposizione del fabbricato
- la schermatura delle aperture
- una corretta ventilazione
- una attenta valutazione dell'isolamento termico delle pareti opache.

120

Talvolta, per le strutture prese in considerazione da questo volume, l'esposizione non può essere variata poiché, frequentemente, ci si trova ad operare in posizioni obbligate da edifici preesistenti, oggetto di riqualificazione o ampliamento, o per la costruzione di locali di servizio strutture già esistenti.

In questi casi si devono prendere in considerazione, con la massima attenzione, tutti gli altri aspetti progettuali, con grande cura nella scelta dei materiali isolanti.

I parametri utili alla valutazione delle performance termiche estive di una struttura sono:

- La massa superficiale
- Trasmittanza termica periodica
- Sfasamento ed attenuazione

Trattando in questo manuale di strutture estremamente leggere, il primo di questi parametri diviene superfluo ed è quindi necessario focalizzarsi sulla verifica degli altri aspetti.

Trasmittanza termica periodica (U_{dyn} o Y_{ie}) = la definizione e la metodologia di calcolo per Y_{ie} - *trasmittanza termica periodica* - si trovano nella norma UNI EN ISO 13786:2008; questo parametro definisce la relazione tra la variazione del flusso termico sulla superficie esterna di una parete e la variazione della temperatura sulla superficie interna.

Y_{ie} è espresso in W/m^2K .

È buona norma tendere a progettare strutture verticali e di copertura che raggiungano, al minimo, un $Y_{ie} = 0,10 W/m^2 K$.

Anche se questo obiettivo è più restrittivo di quanto richiedono attualmente le norme, scegliendo correttamente materiali e relativo dimensionamento, si ottengono, con limitatissimi aggravii di costo, ottime prestazioni dal punto di vista dell'isolamento estivo.

Sfasamento (ϕ) = è definito come “*periodo di tempo tra l'ampiezza massima di una causa e massima ampiezza dei suoi effetti*”, dove la *causa* è il riscaldamento della superficie esterna di una parete opaca e l'*effetto* è la conseguente variazione di temperatura della superficie interna della parete stessa.

Con lo sfasamento si misura - in ore - il tempo che intercorre tra l'istante in cui registra la massima temperatura sul lato esterno e l'istante in cui registra la massima temperatura sul lato interno.

Attenuazione (f_a) = definito dalla norma come “rapporto tra la trasmittanza termica periodica (Y_{ie}) e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie (U) descrive la riduzione di ampiezza dell'onda termica nel passaggio dalla superficie esterna alla superficie interna attraverso la struttura in esame.

Una chiara ed utile indicazione circa i risultati da ottenere per Sfasamento ed Attenuazione viene data dal *Protocollo sulla valutazione della sostenibilità ambientale* redatto da ITACA (Istituto per la Trasparenza l'Aggiornamento e la Certificazione degli Appalti), attribuisce un punteggio penalizzante (-1) a sfasamenti inferiori alle 8 ore.

Coefficiente di Sfasamento	Fattore di Attenuazione	Punteggio
< 8	> 0,35	-1
8	0,35	0
9	0,25	1
10	0,20	2
11	0,15	3
12	0,17	4
> 12	< 0,15	5

Tabella 3.3: Protocollo ITACA: scala prestazionale isolamento estivo

Dalla tabella precedente si evince che, secondo questo documento, sono ritenuti “meritevoli” sfasamenti uguali o superiori alle 9 ore.

Per ottenere buoni risultati come sfasamento termico, attenuazione e trasmittanza diventa necessario lavorare con isolanti con un alto Calore Specifico, una buona massa ed una bassa Conduttività Termica.

Questi tre parametri sono alla base delle valutazioni contenute nella già citata norma UNI EN 13786.

Dalla combinazione di queste caratteristiche otteniamo gli indicatori fondamentali per la valutazione del comportamento del materiale in regime estivo:

Profondità di penetrazione periodica (δ) = profondità alla quale l'ampiezza delle variazioni di temperatura è ridotta di un fattore e (2,718...)

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot c}}$$

dove

δ = penetrazione termica periodica – si esprime in metri

λ = Conduttività Termica - si esprime w/m k

ρ = massa volumica – si esprime in kg/m³

c = calore specifico – si esprime in J/Kg K

T = periodo – si esprime in secondi (86.400 secondi = 24 ore)

Nella seguente tabella sono messe a confronto le penetrazioni termiche di alcuni materiali da costruzione e di alcuni isolanti.

Materiale	Conduttività Termica	Calore Specifico	Massa volumica	Penetrazione termica
	[w/mk]	[j/kg·k]	[kg/m ³]	[m]
Mattone pieno	0,70	1000	1400	0,117
Mattone doppio UNI	0,40	1000	913	0,110
Blocco porizzato 30x25x19	0,19	1000	770	0,082
Muratura in pietra	2,30	1000	2600	0,156
Cemento armato	2,30	1000	2300	0,166
Calcestruzzo CLS	1,65	1000	2200	0,144
Legno di conifere	0,13	2100	500	0,058
Fibra di vetro	0,04	840	100	0,110
Lana di roccia	0,04	1030	110	0,094
XPS	0,04	1450	35	0,140
EPS	0,03	1450	35	0,136
Poliuretano espanso	0,03	1400	40	0,117
Sughero espanso	0,04	1670	140	0,069
Vetro cellulare	0,04	840	115	0,108
Fibra di legno	0,04	2000	140	0,063

Tabella 3.4: Penetrazione termica dei materiali da costruzione ed isolanti termici

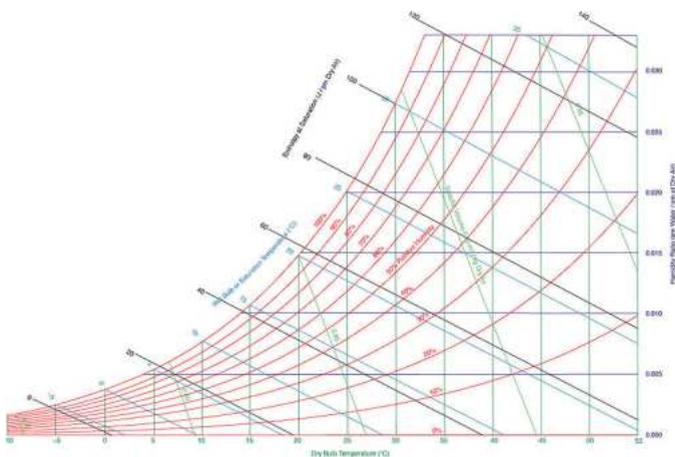
Un dato che si evidenzia nella tabella precedente sono le basse penetrazioni dei materiali isolanti naturali, tale da non trovare confronto con quelli sintetici.

Anche nel caso dell'isolamento estivo lo strato isolante è conveniente posizionarlo all'esterno del fabbricato, poiché, così facendo, si riesce a sfruttare la massa della struttura, che rimanendo meno sollecitata dall'irraggiamento solare potrà accumulare il calore prodotto all'interno dell'edificio.

Infatti tutte le fonti di riscaldamento che nella stagione fredda contribuiscono gratuitamente al comfort climatico (calore emesso da elettrodomestici, abitanti, luce solare ecc) in estate possono creare problemi di surriscaldamento interno anche in presenza di strutture altamente performanti in termini di Sfasamento ed Attenuazione. Per ovviare a questo inconveniente è importante avere materiali pesanti nella parte abitata in modo da sfruttarli come volani di accumulo del calore.

3.2 - PERMEABILITÀ AL VAPORE E TENUTA ALL'ARIA NELLE STRUTTURE IN LEGNO

Nell'atmosfera è disciolta acqua sotto forma di vapore acqueo. La quantità di acqua presente nell'aria dipende dal calore e dalla pressione dell'aria stessa (Umidità Relativa): all'aumentare della temperatura aumenta anche la quantità di vapore che si può disciogliere nell'aria. La valutazione di quale sia la reale quantità di acqua disciolta in forma di vapore nell'aria, la si può fare usando uno strumento grafico, il "diagramma psicrometrico"



124

Figura3.1 Diagramma psicrometrico

Incrociando sul diagramma le linee della temperatura e dell'umidità relativa, è possibile trovare la quantità assoluta di acqua presente nell'aria.

Osservando il diagramma si nota che, a parità di quantità di acqua, al calore della temperatura, l'umidità relativa si alza sino ad arrivare alla saturazione.

Nella condizione di saturazione l'acqua eccedente alla capacità di soluzione in aria condensa e la temperatura dell'aria alla quale avviene il fenomeno viene detta *temperatura di rugiada*.

A parità di pressione atmosferica le temperature di rugiada varieranno quindi in funzione della concentrazione di umidità nell'aria.

Questo meccanismo spiega il fenomeno delle condense superficiali: l'aria calda ed umida che lambisce il vetro freddo vi deposita sopra uno strato di acqua poiché in prossimità della superficie del vetro la temperatura dell'aria si è abbassata e il contenuto d'acqua nell'aria eccede la possibilità di soluzione a quella determinata temperatura. Si è quindi verificata la condensazione dell'acqua che si è depositata sotto forma di minuscole goccioline sul vetro.

Questo fenomeno si verifica anche sulle superfici interne degli edifici ed all'interno dei pacchetti murari che separano zone riscaldate da zone fredde.

Se le quantità di umidità condensata sono limitate e si riasciugano rapidamente, il fenomeno è tollerabile, ma se le quantità sono importanti e i tempi di asciugatura sono lunghi tanto da

determinare uno stato di bagnatura continuo, allora il fenomeno diviene dannoso sia per il comfort abitativo sia per l'integrità delle strutture

3.2.1 - LA CONDENZA SUPERFICIALE

Come si è visto, quando l'aria lambisce una superficie fredda, la temperatura dell'aria stessa subisce un abbassamento. Quando questo abbassamento è tale da superare la temperatura di rugiada, allora si avrà la formazione di condensa sulla superficie fredda.

L'acqua, sotto forma di piccole goccioline (rugiada), si deposita sulle superfici, asciugandosi solo quando il tasso di umidità presente nella stanza scende.

Questo fenomeno può avvenire in qualsiasi momento in una qualsiasi porzione della struttura.

È condizione necessaria, perché il fenomeno si verifichi, che ci sia una combinazione di bassa temperatura e umidità relativa alta.

Se su una superficie non assorbente, come il vetro dell'esempio precedente, la condensa si evidenzia in maniera marcata, sulle murature fredde, che confinano ambienti umidi, avviene con la stessa frequenza. In questo caso il fenomeno non è evidente, sino a quando questa umidità, persistendo, non avvia fenomeni di deterioramento dei materiali e di germinazione di alghe e muffe sulla porzione superficiale (normalmente le pitture murali) della muratura.

La proliferazione di questi organismi talvolta può assumere proporzioni notevoli, interessando intere pareti o intere porzioni di abitazione.

I moderni edifici in legno difficilmente presentano inconvenienti simili: la struttura termicamente omogenea e l'uso del cappotto estemo garantiscono una temperatura superficiale normalmente maggiore della temperatura di rugiada, in situazioni di tassi di umidità normali.

3.2.2 - LA CONDENZA INTERSTIZIALE

La condensa interstiziale è il fenomeno di condensa del vapore acqueo che, attraversando una struttura per diffusione, incontra una zona, all'interno della struttura stessa, con una temperatura uguale o inferiore alla temperatura di rugiada caratteristica di quella determinata quantità di vapore.

Per calcolare il rischio di formazione di condense all'interno di una struttura composta da materiali diversi, è necessario interpolare, strab per strato, la temperatura dell'elemento e la quantità di vapore teoricamente presente.

Per poter fare questa valutazione si divide l'elemento edilizio in una serie di strati omogenei con facce piane parallele, e si definiscono le proprietà del materiale per ciascuno strato.

I parametri che interessano in questa valutazione sono:

λ = Conduttività Termica del materiale

μ = Fattore di resistenza igroscopica

d = Spessore del materiale

con questi dati si potrà calcolare:

R_{strato} = Resistenza termica dello strato preso in esame

$$R_{strato} = \frac{d}{\lambda}$$

S_d = spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore

$$S_d = \mu \cdot d$$

Ogni singolo strato deve essere trattato individualmente, considerando per ciascuno separatamente le proprietà di trasmissione del calore e del vapore calcolandone la resistenza termica, R , e lo spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore, S_d .

Interpolando questi due dati, la resistenza termica - quindi la temperatura dello strato - e la permeabilità al vapore - quindi la pressione del vapore d'acqua in corrispondenza dello strato - è possibile calcolare se in una data posizione può verificarsi la condensazione di vapore e la quantità di acqua che si accumulerà all'interno dello strato in esame.

Sia le verifiche che le quantità ammesse di condensa accumulata sono normate con la UNI EN ISO 13788.

Questa norma ammette che il vapore possa migrare all'interno di una struttura e che una quantità minima di questo vapore, fissata in un massimo di 500 gr/m², possa condensare all'interno della struttura stessa. Tutta la condensa formatasi all'interno di un elemento al termine del periodo di riscaldamento, dovrà sempre evaporare prima dell'inizio della successiva stagione di riscaldamento.

La norma non dà indicazioni circa soluzioni tecniche da adottare in caso la struttura non rispondesse ai requisiti richiesti, ma dà due indirizzi lungo i quali muoversi per risolvere la non conformità:

- Agire sulla resistenza termica dell'elemento, quindi sulle dimensioni e prestazioni dell'isolante, e sul suo posizionamento.
- Modificare le caratteristiche di resistenza alla diffusione del vapore dell'elemento.

Circa quest'ultimo aspetto è utile soffermarsi su un brano della norma:

“È opportuno precisare che l'adozione di barriera al vapore deve essere sempre valutata con molta cautela, in quanto con la sua presenza spesso si possono verificare inconvenienti, tra i quali per esempio:

- si può verificare una riduzione dell'asciugamento estivo;

- nelle strutture con impermeabilizzazione sul lato esterno rispetto all'isolante

l'eventuale umidità presente all'atto della costruzione (getti in opera) non ha più la possibilità di essere smaltita;”

- la barriera può perdere con il tempo le sue caratteristiche.”

In queste poche righe sono contenuti gli elementi intorno ai quali costruire una buona verifica igrometrica.

Asciugamento estivo:

In Italia, in particolar modo nelle regioni del centro sud, la migrazione del vapore non avviene solo nella stagione invernale dai locali riscaldati verso l'esterno, ma abbiamo un flusso di vapore che percorre la struttura in senso contrario durante i mesi estivi.

L'inversione del gradiente di umidità fa sì che l'asciugatura dell'eventuale condensa interstiziale accumulata nella struttura nei mesi invernali avvenga anche verso l'interno

dell'edificio durante la stagione calda. Se si "sigilla" dall'interno la struttura per evitare la migrazione del vapore in inverno rischiamo di impedire l'asciugatura estiva.

Fa eccezione a questa regola un locale perennemente umido come un locale doccia: in questo caso, qualunque sia la temperatura e l'umidità relativa esterna, l'umidità interna sarà sempre superiore. In questo tipo di strutture si potrà utilizzare un elemento che limiti la migrazione del vapore (*freno al vapore*) dall'interno del locale verso l'esterno in modo da limitare la quantità di condensa che si potrebbe avere nella zona fredda del pacchetto costruttivo.

Anche in questo caso si dovrà porre la massima attenzione affinché tutti gli strati della costruzione successivi al freno al vapore siano estremamente aperti alla diffusione in modo da opporre la minima resistenza possibile alla distribuzione ed alla successiva asciugatura dell'umidità che dovesse accidentalmente passare lo strato di presidio.

Umidità di costruzione:

Nel caso delle costruzioni in legno, essendo queste ultime le costruzioni a secco per eccellenza, la questione dell'umidità di costruzione è meno importante, ma ugualmente si dovrà tenere conto dell'umidità residua del legno o di quella acquisita in fase di cantiere e provvedere ad una stratigrafia che sia in grado di garantire l'asciugatura totale della struttura e di tutti i suoi componenti.

Decadimento prestazionale della barriera al vapore:

Oltre al rischio del decadimento delle prestazioni, che è un aspetto da tenere in grande considerazione, è necessario soffermarsi sul fatto che spesso è più semplice apportare piccole variazioni alle stratigrafie anziché affidarsi all'applicazione di barriere al vapore che possono essere non correttamente applicate.

127

Come visto in precedenza è importante evitare la condensa interstiziale per salvaguardare l'integrità e la durabilità della struttura, ma vi è un'altra motivazione, più immediata, che ci impone di controllare la migrazione del vapore nei pacchetti costruttivi: il decadimento della capacità isolante del materiale.

Uno dei migliori isolanti esistenti in natura è l'aria ferma ed asciutta e la quantità di aria contenuta in un materiale isolante è direttamente proporzionale alla capacità isolante del materiale stesso.

Per fare un esempio si guardi alla conduttività termica del legno di abete - 500 kg mc e λ 0,13 W/mK - e della fibra di legno (normalmente prodotta con scarti di lavorazione dell'abete) - 140 kg mc e λ 0,040 W/mK. Il miglioramento prestazionale nella fibra di legno è da attribuire al maggior volume di aria inclusa nella struttura dell'elemento, quantità di aria individuabile nella diversa massa volumica del materiale.

Quindi se si formasse della condensa questa si sostituirebbe all'aria presente nell'isolante, peggiorandone in maniera sensibile la conduttività termica.

Siccome si è detto che, tranne alcune eccezioni; non è conveniente limitare il flusso del vapore attraverso la struttura con barriere o freni al vapore, diventa importante esaminare altre due peculiarità dei materiali che possono cambiare il comportamento degli isolanti in caso di condensa interstiziale: l'igroscopticità e il peggioramento della trasmittanza in presenza di umidità.

3.2.3 - IGROSCOPICITÀ:

Viene definita igroscopicità la proprietà di un materiale di assorbire acqua. Questa proprietà gioca un ruolo importante nella valutazione dell'idoneità di un materiale isolante ad essere utilizzato in determinate condizioni. Infatti le condense non si formano mai su superfici estese, ma si localizzano puntualmente in corrispondenza di difetti di isolamento o di tenuta all'aria. Utilizzando materiali ad alta igroscopicità si ottiene che l'umidità, eventualmente condensata, venga distribuita su un'ampia superficie. In questo modo la quantità di acqua per unità di superficie scende e si limita quindi il decadimento della proprietà isolante del materiale e, allo stesso tempo, potendo contare su una superficie evaporante estesa l'asciugatura è più veloce.

3.2.4 - PEGGIORAMENTO DELLA TRASMITTANZA IN PRESENZA DI UMIDITÀ.

Per la valutazione del comportamento del materiale rispetto all'umidità, oltre al parametro di permeabilità al vapore μ , oltre alla capacità igroscopica, si dovrà analizzare anche il comportamento dell'isolante in caso di condensa interstiziale nei termini di peggioramento della conduttività termica.

Secondo la norma UNI EN ISO 13788, è consentito un accumulo di condensa, in un periodo di 12 mesi che vanno dal primo mese di accensione dell'impianto di riscaldamento al termine del 12^{mo} mese successivo, sino ad un quantitativo massimo di 500 gr per metro quadro.

Quindi, se dalla verifica termo-igrometrica, risulterà un accumulo di condensa all'interno della struttura, si dovrà procedere verificando che:

- la quantità di condensa accumulata non ecceda al limite imposto dalla norma
- la condensa accumulata si deve asciugare completamente prima dell'inizio del successivo periodo di riscaldamento
- il peggioramento della conduttività termica dei materiali in presenza della quantità di acqua risultante dal calcolo, non dovrà peggiorare al punto di compromettere l'isolamento termico calcolato nel progetto.

A tale scopo esiste un metodo di calcolo contenuto nella norma UNI EN ISO 10456 che descrive come verificare il comportamento di un materiale posto in opera in condizioni diverse rispetto a quelle a cui è stata testata la conducibilità termica dichiarata.

In conclusione si deve progettare la struttura in modo che sia permeabile al vapore, per facilitare l'asciugatura, ed il meno possibile sensibile alla condensa, per non ridurre la capacità isolante, evento che porterebbe inevitabilmente all'aumento della quantità di umidità condensata.

Alla luce di queste valutazioni risulta più semplice e più sicuro agire sui seguenti punti:

- scelta di isolanti che reagiscono al meglio in presenza di umidità condensata
- opportuno dimensionamento dello strato isolante, in maniera che dia una buona protezione alle parti della struttura che non devono inumidirsi
- inserimento di elementi che rallentino il flusso del vapore senza costituire delle vere e proprie barriere.

Un materiale interessante per agire su quest'ultimo aspetto della composizione della parete è la cellulosa che funziona da freno al vapore se asciutta e si apre alla diffusione quando

umida. Questo meccanismo, emulato negli ultimi anni dalle moderne membrane igro-variabili, permette, in condizioni normali, di limitare la quantità di vapore che penetra nella struttura e, nel caso di umidità eccessiva all'interno della struttura stessa, di aprirsi alla diffusione permettendo una rapida asciugatura degli elementi protetti.

Anche per la gestione della migrazione del vapore il posizionamento dell'isolante all'esterno della struttura si rivela una scelta obbligata.

Come già visto, l'isolamento posto nella posizione più esterna possibile protegge la struttura dal raffreddamento, riducendo drasticamente i rischi di condensa sulla struttura stessa e, qualora vi fosse condensa nell'isolante, per la estrema prossimità alla ventilazione naturale, si ha buona garanzia di efficace asciugatura.

Perché questo meccanismo possa attivarsi è indispensabile che, per il cappotto termico:

- Il materiale coibente sia estremamente igroscopico e permeabile al vapore
 - L'intonaco esterno, applicato sul pannello coibente, sia anch'esso igroscopico e permeabile al vapore. Ad esempio, un intonaco a base di calce naturale risponde perfettamente a questa esigenza.
 - Non vi siano pitture o rivestimenti che limitino la porosità superficiale dell'intonaco
- e per lo strato isolante di copertura:
- Anche in questo caso utilizzare materiale coibente estremamente igroscopico e permeabile al vapore
 - In estradosso all'isolante vi sia uno strato impermeabile all'acqua, quale presidio ad eventuali imprevisti ingressi di acqua meteorica e che questi sistemi siano il più possibile aperti alla diffusione del vapore acqueo
 - Che sia realizzata una struttura di supporto del manto di copertura con un sistema di listelli, vincolato direttamente alla struttura, tale da costituire una corretta ventilazione per lo strato isolante ed il manto di copertura, consistente in una lama d'aria continua, di circa 40/50 mm che si originerà alla linea di gronda e terminerà alla linea di colmo.

3.2.4 - L'IMPERMEABILITÀ ALL'ARIA

Se l'apertura alla diffusione del vapore è di notevole importanza per la durabilità di una struttura, l'impermeabilità all'aria è fondamentale per evitare perdite di quantità ingenti di calore per convezione.

Nelle costruzioni in legno è frequente che errori di posa determinino punti di infiltrazione d'aria. Un'interruzione della tenuta all'aria in una struttura spesso vanifica quanto fatto, a livello progettuale, costruttivo ed economico, per minimizzare le perdite energetiche per diffusione.

Oltre alla perdita di calore, queste infiltrazioni causano abbassamenti della temperatura superficiale delle zone limitrofe alla "falla", creando le condizioni per la formazione di condensa, superficiale o interstiziale, che a lungo andare determinano rischi per l'integrità della struttura e la formazione di muffe, situazione non confortevole per gli utilizzatori della struttura stessa.

Questa ventilazione accidentale, così dannosa, si verifica più frequentemente:

- tra gli accoppiamenti tra elementi costruttivi in legno e cordoli o platee in calcestruzzo
- tra gli accoppiamenti di elementi costruttivi in legno (pannelli, tra copertura e pareti perimetrali ecc)
- tra struttura e serramenti (tra struttura e telaio di porte e finestre)

- nell'imperfetta realizzazione di serramenti
- nel passaggio da interno ed esterno di impianti (cavidotti, impianti ecc)
- nella foratura dei pannelli strutturali per l'alloggiamento di impianti
- nella creazione di discontinuità delle barriere all'aria (teli) per l'inserimento di scoble di derivazione o simili.

Le accortezze da utilizzare per evitare difetti conseguenti alla mancata tenuta all'aria sono: una attenta progettazione e prescrizione dei sistemi di impermeabilità all'aria in fase progettuale

una attenta verifica della corretta applicazione di tali sistemi

verifiche strumentali (blower door test) della struttura da effettuarsi nelle varie fasi di avanzamento del cantiere.

In caso di elementi strutturali discontinui (tavolato) sarà necessario utilizzare idonei teli di tenuta all'aria opportunamente nestrati o saldati sui sormonti.

In caso invece di elementi costruttivi impermeabili all'aria (pannelli OSB) sarà necessario il presidio delle sole zone di accoppiamento con appositi nastri adesivi o sigillanti da estrarre nella connessione.

Oltre a questi sistemi esistono svariati accessori utili al presidio di corpi passanti ed impianti.

Tutti questi sistemi e relativi accessori hanno un costo infinitamente più basso rispetto ad un eventuale intervento per il ripristino di un errore nella tenuta all'aria!

3.3 – FINITURE INTERNE ED ISOLAMENTO ACUSTICO

Nella costruzione in legno ci si trova a dover riempire intercapedini di vario genere. Il riempimento è sempre necessario per evitare:

- l'innescio di moti convettivi che porterebbero ad accumuli di umidità nelle zone alte del cavedio con conseguente aumento di rischi di condensa
- che il cavedio lasciato vuoto funga da cassa di risonanza acustica, peggiorando la prestazione della struttura per l'isolamento dal rumore.

La quantità di isolante termico inserita nei cavedi sicuramente migliora la prestazione della parete ma bisogna evitare di affidarsi ad essa per raggiungere gli obiettivi di progetto. Questo perché la presenza di impianti, elementi strutturali o disuniformità di vario genere nel volume da riempire, fanno sì che le quantità di isolante messe in opera non siano costanti su tutta la superficie della parete. Un altro motivo sta nel fatto che non bisogna mai eccedere con l'isolamento intemo al fine di evitare di raffreddare eccessivamente la struttura.

In questa zona della costruzione non va ricercata alcuna prestazione in termini di isolamento termico, focalizzandosi solo sul riempimento delle cavità.

Per ottenere buoni risultati si prediligono materiali morbidi, quali fibre o prodotti sciolti poiché sono più facili da inserire e meglio si adattano alle irregolarità che caratterizzano questi volumi.

Alcuni esempi sono costituiti da:

- Fibre minerali (vetro o roccia) – materiali irritanti in fase di posa, bassa igroscopicità, non infiammabili

- Fibra di canapa – materiale a bassissimo impatto, imputrescibile e durabile, non irritante in fase di posa e di utilizzo
- Flocchi di cellulosa – materiale da insufflaggio, pratico da applicare, non irritante.
- Prodotti sintetici espansi in perle – materiali da insufflaggio, basso isolamento acustico

Nella struttura a telaio si dovranno riempire i volumi confinati tra i montanti della struttura, il pannello di rivestimento interno e il pannello strutturale a base di legno estemo (quando non sia necessario per esigenze strutturali un pannello strutturale su entrambi i lati) e l'eventuale cavedio impianti interno tra il pannello interno della parete che può essere anche strutturale e l'elemento di finitura perimetrale interno (cartongesso o fibrogesso).

Nelle costruzioni in XLam il cavedio che ci si trova a coibentare è quello realizzato tra il pannello XLam e la finitura interna. In entrambi i casi il riempimento avverrà tra i cavidotti degli impianti e quindi diviene indispensabile usare materiali flessibili che si adattino a un corretto e totale riempimento dei vuoti.

Il placcaggio di questi volumi tecnici si può realizzare con diversi materiali. I più comuni sono:

- Cartongesso: è il sistema di chiusura dei cavedi più utilizzato. Presenta vantaggi economici ma anche limiti dettati dalla scarsa permeabilità al vapore del cartone che riveste i pannelli
- Fibrogesso: simile al cartongesso come resa estetica ha il vantaggio di avere un'armatura diffusa di cellulosa che conferisce al pannello una buona resistenza meccanica. La mancanza del rivestimento esterno in cartone conferisce al pannello una minore resistenza al transito del vapore ed un migliore comportamento per la fono attenuazione.
- Esistono altri elementi a base di terra cruda per il placcaggio dei cavedi che vengono rasati con terra cruda colorata in pasta. Questa tecnica ha il notevole vantaggio della spiccata igroscopicità dell'argilla e quindi migliora il comfort termico e igrometrico degli ambienti in cui è utilizzato.

In tutti i casi esaminati in precedenza si possono ottenere rivestimenti con una buona massa (solitamente con doppi pannelli da 12,5 mm per cartongesso e fibrogesso) e quindi con una buona capacità di accumulo termico.

Per i pannelli in gesso esistono anche le varianti resistenti all'acqua da utilizzarsi in bagni e docce. In questi locali l'uso della terra cruda presenta qualche rischio di troppo.

Le finiture superficiali dei rivestimenti devono rispettare la "missione" del rivestimento stesso, ovvero non devono alterare la permeabilità al vapore. Quindi si cercherà di usare pitture, intonachini e stucchi naturali, caratterizzati da un'ottima traspirabilità e da assenza di emissioni nocive sia in fase applicativa che in fase d'esercizio.

3.4 - LA SCELTA DELL'ISOLANTE TERMICO

Come visto in precedenza la scelta dell'isolante deve essere fatta tenendo conto dei tre obiettivi che con questo elemento si devono ottenere:

- isolamento invernale
- isolamento estivo
- gestione del vapore

Capitolo 3: Isolamenti, rivestimenti e finiture

Siccome il materiale isolante deve essere uno solo ed deve rispondere al meglio a queste tre richieste, con gli elementi visti in precedenza si proverà a simulare l'isolamento termico a cappotto su una parete verticale opaca realizzata in X Lam e su una copertura il cui solaio inclinato è realizzato con doppio tavolato da mm20 + mm 20.

I risultati richiesti a queste due strutture opache sono:

Isolamento invernale: $U = 0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Isolamento estivo: Sfasamento = 12 ore

I materiali utilizzati per il cappotto esterno sono i seguenti con le relative caratteristiche:

Materiale	Massa	Conducibilità termica	Calore specifico
Simbolo	ρ	λ	C
UM	[kg/mc]	[W/mK]	[J/kgK]
Fibra di vetro	100	0,039	1030
Lana di roccia	100	0,036	1030
XPS	20	0,036	1450
EPS	19	0,032	1450
Poliuretano espanso	35	0,026	1464
Sughero	140	0,043	1880
Calcio silicato	115	0,043	1300
Fibra di legno	150	0,040	2100

Tabella 3.5: Caratteristiche materiali isolanti da cappotto

Per raggiungere le prestazioni previste si dovranno utilizzare i seguenti spessori di materiale:

Materiale	Inverno	Estate
Prestazione	$0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	12 ore
UM	[mm]	[mm]
Fibra di vetro	125	225
Lana di roccia	115	220
XPS	115	415
EPS	110	470
Poliuretano espanso	85	265
Sughero	140	150
Calcio silicato	140	200
Fibra di legno	125	135

Tabella 3.6: Spessore/prestazione per isolanti da cappotto

I materiali utilizzati per il tetto ventilato sono i seguenti con le relative caratteristiche:

Materiale	Massa	Conducibilità termica	Calore specifico
Simbolo	ρ	λ	C
UM	[kg/mc]	[W/mK]	[J/kgK]
Fibra di vetro	30	0,039	1.030
Lana di roccia	130	0,036	1.030
XPS	35	0,034	1.450
EPS	25	0,04	1.450
Poliuretano espanso	35	0,026	1.464
Sughero	140	0,043	1.880
Fibra di legno	140	0,038	2100

Tabella 3.7: Caratteristiche materiali isolanti da cappotto

Per raggiungere le prestazioni previste si dovranno utilizzare i seguenti spessori di materiale:

Materiale	Inverno	Estate
prestazione	0,24 W/m ² K	12 ore
UM	[mm]	[mm]
Fibra di vetro	140	640
Lana di roccia	130	295
XPS	120	445
EPS	140	570
Poliuretano espanso	90	360
Sughero	150	195
Fibra di legno	135	175

Tabella 3.8: Spessore/prestazione per isolanti da copertura

3.5 SOLUZIONI IMPIANTISTICHE E TECNOLOGICHE APPLICABILI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI

Le soluzioni impiantistiche e tecnologiche sia ad alta efficienza che per la produzione di energia da fonti rinnovabili valgono in generale per qualsiasi soluzione di architettura sostenibile a prescindere dal materiale da costruzione utilizzato. Nello specifico oltre al vantaggio dato dalla scelta della struttura in legno in termini di efficienza energetica, fra le tante possibilità di impianti tecnologici applicabili nel caso di edifici di supporto all'attività sportiva è stato scelto, come soluzione di sicuro interesse, il "solar cooling" ovvero la possibilità di climatizzare l'ambiente residenziale utilizzando in buona parte l'energia termica solare.

Questa scelta è data principalmente dalle limitate dimensioni in termini volumetrici degli edifici di interesse per questa pubblicazione e dalle condizioni termo-igrometriche prodotte durante l'attività fisica che necessitano di quantità di energia significativa per l'eliminazione del calore e dell'umidità latente.

Il consumo energetico del settore domestico e terziario rappresenta circa il 40% del totale degli usi finali di energia nell'Europa a 15 Paesi. All'interno di tali consumi, la quota dovuta alla climatizzazione degli ambienti è aumentata, negli ultimi decenni, drammaticamente nei paesi mediterranei ma anche significativamente in quelli del centro-nord Europa.

134

Le motivazioni principali dell'incremento della domanda energetica per la climatizzazione estiva risiedono nell'aumentato livello della qualità della vita e nella conseguente necessità di migliorare il comfort negli ambienti di lavoro e nelle abitazioni, oltre che nell'impiego nelle moderne architetture di vaste superfici vetrate, che provocano incrementi notevoli nei carichi termici estivi.

Ciò ha comportato delle conseguenze rilevanti sull'andamento del profilo dei carichi sulla rete elettrica, specialmente nel periodo estivo.

La domanda di energia per il condizionamento degli ambienti è aumentata considerevolmente ed il trend è ancora fortemente in crescita. Le tecnologie tradizionalmente utilizzate per il condizionamento sono causa di notevoli sovraccarichi della rete elettrica di distribuzione con conseguente rischio di black-out elettrici. In particolare il rischio è di dover aumentare significativamente la potenza installata senza un corrispondente aumento del consumo con il risultato di un costo dell'energia più alto.

Attualmente, nei paesi del sud Europa, c'è una precisa correlazione fra l'incremento del picco del carico sulla rete elettrica nel periodo estivo e l'incremento delle vendite di climatizzatori di taglia media e piccola il cui mercato è esclusivamente appannaggio dei tradizionali sistemi a compressione di fluidi azionati da motori elettrici.

Poiché il profilo giornaliero della domanda di climatizzazione degli ambienti quasi si sovrappone a quello dell'energia fornita da un sistema solare termico (Figura 3.2), sistemi di climatizzazione solare o assistiti dal solare possono costituire una valida alternativa ai climatizzatori tradizionali. Infatti, l'energia solare costituirebbe, in tutto o in parte, la sorgente energetica primaria per l'azionamento di climatizzatori ad assorbimento/adsorbimento che, come noto, sono delle macchine termiche.

Le macchine ad adsorbimento di vapore d'acqua su solidi porosi (es. zeoliti, gel di silice) risultano particolarmente indicate per la specifica applicazione del solar cooling.

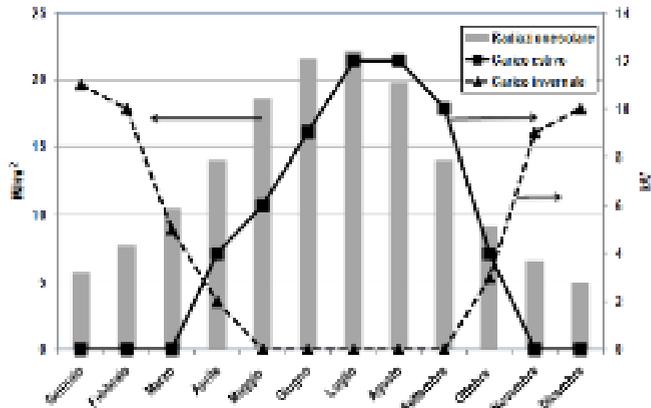


Figura 3.2: Andamento dei carichi invernali ed estivi e della radiazione sdare incidente (38° Lat. N)

Difatti, oltre alla silenziosità ed all'impiego di materiali rispettosi dell'ambiente, le macchine ad adsorbimento presentano prestazioni attraenti per i bassi livelli di temperatura tipici delle applicazioni che prevedono l'uso di energia solare. Inoltre, possono essere configurate modularmente ed in taglie ridotte, adattandosi ad un impiego flessibile nel settore residenziale.

Il diffondersi di questa tipologia di sistemi di climatizzazione porterebbe ad una sostanziale riduzione dei picchi di carico estivo sulla rete elettrica e ad un beneficio ambientale connesso all'utilizzo dell'energia solare in sostituzione dell'elettricità. Tale beneficio sarà tanto maggiore per quei paesi, come l'Italia, in cui la produzione di elettricità avviene quasi esclusivamente a partire da combustibili fossili.

Oltre ai benefici ambientali ed energetici appena illustrati bisogna tenere in considerazione almeno altri due: uno economico ed uno tecnico. Il beneficio economico è essenzialmente connesso al fatto che parte (o tutta) l'energia necessaria al funzionamento del climatizzatore è gratuita e quindi i costi di esercizio sono ridotti. Il vantaggio tecnico consiste essenzialmente nella possibilità di sfruttare l'impianto solare, eventualmente dimensionato per l'integrazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, anche in estate evitano rischiosi innalzamenti della temperatura nel sistema solare e/o lo spreco di notevoli quantità di energia termica¹.

La realizzazione di un impianto per solar cooling di taglia piccola (o piccolissima, 3 - 8 kW) presenta diverse criticità. Prima fra queste la scarsa reperibilità sul mercato di macchine frigorifere ad adsorbimento/assorbimento termally driven di taglia adeguata alla piccola climatizzazione. Seconda criticità per sistemi di così ridotta taglia è il dimensionamento dei componenti (specialmente il capo solare): in sistemi di potenzialità contenuta eventuali errori progettuali possono compromettere il funzionamento dell'impianto in maniera vistosa. Allo

¹ In caso di risotto sfruttamento del calore prodotto i dispositivi di sicurezza degli impianti solari evacuano l'eccesso di calore (sotto forma di vapore o acqua calda) in ambiente consentendo il contemporaneo reintegro con acqua fredda. Ciò costituisce una "inefficienza energetica" ed uno stress termo-meccanico per i componenti dell'impianto.

stato attuale non esistono norme o codici di calcolo di riferimento per il dimensionamento degli impianti solar cooling.

Nel caso di impianti di "solar cooling" per strutture da adibire ad attività sportive, caratterizzate da ampi spazi e maggior produzione di calore e umidità (elevata utenza e prestazioni fisico motorie), è necessario realizzare sistemi ad alte potenze sia per il raffrescamento degli ambienti che per l'uso elevato di acqua calda sanitaria. In tal modo non avremmo le criticità suddette con il vantaggio di utilizzare al meglio la produzione di energia solare termica.

3.6 LEGNO E SICUREZZA ELETTRICA

Le strutture sportive, al pari di altre tipologie di costruzioni, sull'onda di una accresciuta sensibilità 'ecologica', sono da qualche tempo investite da una ventata di rinnovamento che ormai si diffonde anche in Italia. Diversi sono gli esempi di progettazioni che, attingendo ai criteri propri della bioarchitettura, puntano a riqualificare, o a creare nuovi, manufatti edili destinati allo sport. In tal senso, per via delle note caratteristiche in termini di sostenibilità, funzionalità, ed evidentemente anche per risvolti estetici, oggi l'utilizzo del legno la fa da padrone in applicazioni di questo tipo.

Premesso che dal punto di vista strutturale, la resistenza al fuoco della moderna edilizia in legno è garantita da una adeguata progettazione, è peraltro intuibile che l'installazione di impianti elettrici all'interno di strutture realizzate con materiali combustibili, in generale potrebbe rendere queste più vulnerabili, per quanto attiene alla loro sicurezza in caso d'incendio.

D'altronde, poiché a livello nazionale l'edilizia in legno viene ancora considerata un fenomeno di nicchia è riscontrabile una certa carenza del quadro normativo riguardante l'impiantistica correlata. Per esempio, tra le norme tecniche elaborate dal CEI, il Comitato Elettrotecnico Italiano, non esiste ancora una sezione che tratti esplicitamente l'argomento dell'impianto elettrico nell'edificio di legno.

Analizzando la Norma CEI 64-8, la 'bibbia' del progettista elettrico, alla sua Parte 7 riguardante 'Ambienti ed Applicazioni Particolari' [15], troviamo un riferimento alla problematica solo all'interno della sezione 751. All'interno di tale sezione gli edifici con 'strutture portanti combustibili' vengono annoverati tra gli "Ambienti a maggior rischio in caso d'incendio", o ambienti MARCI, secondo un acronimo molto familiare tra gli addetti ai lavori.

Tale classificazione indica, di fatto, che nella progettazione degli impianti elettrici a servizio dell'immobile bisognerà destinare particolare cura nel minimizzare il rischio che l'impianto elettrico possa essere causa d'incendio.

I componenti elettrici, è noto, riscaldano nel funzionamento ordinario, ma soprattutto in caso di guasto. Nelle strutture realizzate in bio-edilizia, a rischi del tutto ordinari, dovuti a possibili scintille ed archi elettrici, punti caldi, e scariche atmosferiche, si aggiungono alcuni rischi specifici. Oltre alla presenza di materiali potenzialmente combustibili, quali il legno e i suoi derivati, bisogna considerare che la presenza di intercapedini, cosiddette 'porta-impianti', a parete e/o a pavimento, può creare condizioni di rischio aggiuntivo. Qui il principio di incendio può covare a lungo senza rivelarsi, la maggiore presenza di aria può alimentarlo e lo sviluppo verticale innescare un 'effetto camino'.

Le medesime intercapedini, poi, sono spesso interessate da coibentazioni realizzate con materiali, di origine vegetale o animale, derivati o simili del legno come le fibre di canapa, di mais, la lana di pecora, ecc... La vicinanza ai componenti elettrici di materiali combustibili fibrosi, benché opportunamente trattati, di certo può contribuire ad innalzare il livello di rischio elettrico.

Per fronteggiare tali rischi aggiuntivi, oltre ai criteri generali di esecuzione degli impianti previsti dalla normativa, il citato articolo 751 della CEI 64-8/7, prescrive alcuni criteri specifici riguardanti metodi e materiali, riportati dalla letteratura tecnica [16], [17], e finalizzati a realizzazioni 'a regola d'arte'.

I componenti elettrici, in generale, dovrebbero essere limitati a quelli strettamente necessari e, ovviamente, non devono costituire pericolo di innesco o di propagazione di incendio per i materiali adiacenti. Trattando la posa incassata entro intercapedini combustibili e termicamente isolanti, al fine di evitare che eventuali scintille fuoriescano dal componente e vadano a lambire parti combustibili le condutture devono presentare, grado di protezione IP³ 4X, indipendentemente dalla classe di reazione al fuoco delle pareti.

Anche nel caso in cui i cavi siano provvisti di guaina, dovranno essere segregati rispetto all'ambiente circostante, utilizzando idonea tubazione, anche isolante (rigida o flessibile), come da norma EN 61386-1 (CEI 23-80). Nel caso di tubazioni isolanti, queste devono aver superato la prova del filo incandescente (Glowing Wire Test o GWT) a 750 °C, secondo modalità di prova stabilite dalla EN 60695-2-11 (CEI 89-13). Scatole e cassette (portafuoco, portacentralino, di derivazione) devono essere conformi al tipo di installazione (all'interno di pareti con intercapedine), realizzate in materiale plastico speciale (tecnopolimero autoestinguente) e devono aver superato il GWT a 850 °C. In tal caso saranno marcate con 'H' o recheranno informazioni specifiche, in conformità alla norma EN 60670-1 (CEI 23-48).

Per limitare l'eventualità di punti caldi dovuti a correnti di dispersione, è opportuno adottare la protezione differenziale ad alta sensibilità su tutti i circuiti.

Riguardo la tipologia di cavi da impiegare, avendo adottato il grado di protezione IP4X per tubazioni e scatole, la norma, rispetto alle prescrizioni 'standard' per la destinazione d'uso dei locali considerata, non pone restrizioni aggiuntive. D'altronde l'esperienza statunitense, per favorire l'intervento della protezione differenziale in caso di guasto a terra (non franco), come cautela aggiuntiva, consiglia di utilizzare cavi multipolari con all'interno il conduttore di protezione nudo. Tale soluzione è da adottarsi eventualmente anche su circuiti non collegati a terra (es: il comando lud), curando di effettuare il collegamento a terra entro le cassette di derivazione.

Per quanto riguarda la portata dei cavi posati entro intercapedini termicamente isolanti, è da ricordare che essa viene a ridursi (almeno del 20%) a causa della maggiore difficoltà a smaltire il calore verso l'esterno. La determinazione della portata va effettuata in base al procedimento generale indicato nella norma CEI 20-21, in quanto la Tabella CEI UNEL 35024/1 non è in questo caso applicabile.

Gli apparecchi di illuminazione nel loro funzionamento normale riscaldano. Nella loro scelta bisogna dunque verificare se siano adatti o meno al tipo di installazione prevista, utilizzando la simbologia su essi riportata e stabilita dalla norma EN 60598-1 (CEI 34-21), cui si rimanda.

Infine per quanto riguarda interruttori e prese a spina, benché la norma non consideri pericolosi gli archi funzionali prodotti da tali apparecchiature, la prudenza consiglia anche qui il grado di protezione IP4X.

In conclusione, si può affermare che, grazie ad un opportuno lavoro di integrazione impiantistico-architettonica, facilitato oggi dalla disponibilità commerciale di materiali e soluzioni tecnologiche specifiche, è possibile realizzare strutture sportive in biodilizia, 'a regola d'arte' anche dal punto di vista elettrico.

3.7 CRITERI DI PROGETTAZIONE ANTINCENDIO

3.7.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

La vulnerabilità al fuoco di una struttura dipende da un insieme di fattori tra i quali il materiale strutturale con il quale la costruzione è realizzata riveste un'importanza marginale. Esistono diversi casi in letteratura di incendi occorsi in passato in edifici realizzati con materiali considerati come non combustibili (come acciaio o calcestruzzo) che hanno portato al crollo completo della struttura e alla perdita di vite umane. Come esistono diverse esperienze di incendi reali occorsi in costruzioni con struttura portante in legno che dimostrano come, soprattutto quando le strutture sono protette da rivestimenti non combustibili, anche dopo diverse ore di incendio i danni osservati agli elementi strutturali in legno siano stati minimi e comunque tali da non determinare collassi.



Figura 3.3: A sinistra: capannone di cemento amato completamente distrutto a seguito di un incendio; le armature metalliche perdono resistenza e rigidità con l'aumento della temperatura, provocando rapidamente il crollo della struttura. A destra: consolidamento strutturale di un solaio di un edificio di due piani in pannelli XLam sottoposto ad un incendio della durata di 20 ore, al termine del quale i danni osservati sono stati relativi solamente a circa 4 m² di pareti interne ed esterne e 3 m² di solaio senza determinare alcun collasso, nemmeno parziale, delle strutture [13].

Ci sono diversi fattori che rivestono un'importanza fondamentale per la salvaguardia delle vite umane in caso di incendio: dalla presenza di sistemi di rilevazione, alla corretta progettazione delle vie di fuga e della loro accessibilità, alla tipologia degli arredi presenti all'interno dell'edificio, alla tipologia e i materiali con cui vengono realizzati i rivestimenti interni, alla presenza di un sistema automatico di spegnimento, alla presenza di una attrezzatura adeguata per lo spegnimento. Attraverso una corretta previsione di tutti questi fattori sia in fase di progettazione che in fase di costruzione è possibile realizzare edifici con una elevata sicurezza al fuoco sia che si utilizzino materiali da costruzione combustibili che non combustibili.

Occorre inoltre distinguere, parlando di progettazione di una struttura nei confronti del fuoco, tra la **resistenza al fuoco** definita dalla norma (D.M.Int. 09/03/2007) come "la capacità portante in caso di incendio, per una struttura, per una parte di 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, che non strutturali, come porte e tramezzi”, che è quindi una proprietà della struttura e non del materiale che la compone, dipendente dalla geometria, dai carichi agenti e dalle condizioni di esposizione, dalla **reazione al fuoco** che è il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto, ed è quindi una proprietà del materiale. In relazione a ciò i materiali sono assegnati alle classi 0, 1, 2, 3, 4 e 5 con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione².

Per quel che concerne la resistenza al fuoco, questa è suddivisa in:

- R stabilità: attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco;
- E tenuta: attitudine di un elemento da costruzione a non lasciar passare né produrre - se sottoposto all'azione del fuoco su un lato - fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- I isolamento termico: attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore.

Alle strutture a sviluppo lineare (travi e pilastri) generalmente viene richiesto il solo requisito R; alle strutture a sviluppo superficiale (solai e pareti), quando queste delimitano un compartimento, sono richiesti anche i requisiti E ed I. Quindi riferendosi al caso delle strutture di legno, nel caso di sistemi a travi, pilastri e controventi basta considerare il solo requisito di stabilità R, mentre per i sistemi a pareti come quelli trattati nell'ambito di questa pubblicazione, ossia il sistema Platforme XLam, occorre considerare tutti e tre i requisiti.

140

Sui metodi di valutazione della resistenza al fuoco si rimanda a testi più specifici sull'argomento [18] o alle normative di riferimento, principalmente D.M.Int. 09/03/2007 ed Eurocodice 5 parte 1-2.

Per quel che riguarda invece la reazione al fuoco, il legno ed i prodotti a base di legno hanno classe di reazione al fuoco 3 o 4. La reazione al fuoco è una caratteristica che riguarda i rivestimenti e non gli elementi strutturali; tuttavia quando gli elementi strutturali in legno quali ad es. le pareti e i solai vengono lasciati a vista, occorre che, oltre al requisito della resistenza venga considerato anche quello della reazione al fuoco.

Le specifiche normative che regolano ciascuna attività fissano la classe massima di reazione al fuoco dei rivestimenti in funzione dell'uso dei locali e della loro posizione. Nel caso delle tipologie edilizie trattate nell'ambito di questa pubblicazione per quel che riguarda il requisito di resistenza al fuoco, questo viene richiesto solamente nel caso di attività che contemplino la presenza contemporanea di più di 100 persone e per il caso di alcuni ambienti (ad es. per cucine in bar o ristoranti con caldaie a gas di potenza superiore ai 35 kW). Stesso discorso vale per il requisito di reazione al fuoco, ad esempio il materiale con cui devono essere rivestite le pareti di separazione tra la zona cucina e la zona consumazione in bar o ristoranti

² In realtà tale classificazione segue secondo gli ultimi decreti ministeriali la denominazione presente nella normativa europea (le cosiddette “Euroclass” di reazione al fuoco A1, A2, B, C, D, E, F determinate in accordo con la norma UNI EN 13501-1), anche se il concetto è sostanzialmente analogo; in questa trattazione si preferisce continuare ad utilizzare la vecchia classificazione (classi da 0 a 5) per facilità di comprensione.

devono essere rivestite con materiale di classe 0 di reazione al fuoco. In generale comunque non esistono prescrizioni particolari in relazione a questi aspetti per i locali adibiti a spogliatoi, locali per servizi tecnici, amministrativi e sanitari e piccole attività commerciali.

3.7.2 I TRATTAMENTI IGNIFUGHI E LE PROTEZIONI

I prodotti *ignifughi* sono delle vernici che, applicate sul legno, ritardano l'ignizione, ossia rendono il legno meno facilmente infiammabile e quindi ne abbassano la classe di reazione al fuoco, fino a portarlo in classe 1; per questo motivo sarebbe più opportuno parlare di prodotti *igniritardanti*. Ovviamente nel ritardare l'ignizione aumentano anche la resistenza al fuoco dell'elemento anche se generalmente solo di pochi minuti, tuttavia l'omologazione è possibile solo nei confronti della reazione al fuoco.

Al momento non esistono in commercio prodotti che rendono il legno non combustibile.

Il periodo di efficacia del prodotto è normalmente inferiore a 5 anni, pertanto dopo tale periodo, affinché il trattamento sia efficace, il prodotto deve essere rimosso e riapplicato.

I prodotti ignifughi rivestono il legno limitandone fortemente la traspirazione, per tale motivo non possono essere applicati su legno massiccio non sufficientemente stagionato altrimenti, non permettendo la rapida stagionatura del legno, possono provocare fenomeni di degrado.

Ai fini della resistenza al fuoco le protezioni di elementi strutturali di legno con legno sono ammesse (L.C. Min. Int. 26/11/1990 "Resistenza di strutture portanti in legno"), in tal caso la resistenza al fuoco è aumentata del tempo occorrente alla combustione delle tavole di protezione.

Anche le protezioni con controsoffitti e cartongesso sono ammesse (L.C. 07/12/87 "Strutture in legno – Controsoffitti"), in questo caso è però necessario che le protezioni siano classificate per conferire alle strutture di acciaio una resistenza uguale o superiore a 45 minuti.

L'Eurocodice 5 tratta in maniera esaustiva il calcolo della resistenza al fuoco in presenza di protezioni.

3.7.2 COMPORTAMENTO AL FUOCO DI EDIFICI PLATFORM FRAME E XLAM

Come spiegato nel Capitolo 2, le pareti e i solai di un edificio Platform vengono rivestite internamente con l'applicazione di pannelli di cartongesso o fibrogesso che possono essere applicati direttamente sul telaio della parete o su una controparete interna riempita con isolante adibita al passaggio degli impianti.

Questi rivestimenti sono classificati in base alla classe di reazione al fuoco nella norma EN 520 che ne definisce anche i requisiti di produzione e i metodi di prova mentre l'Eurocodice 5, parte 1-2 nelle Appendici C e D fornisce il metodo per calcolare la resistenza al fuoco di una parete a telaio con isolante interposto o vuota, in funzione della tipologia del rivestimento, del suo spessore, della presenza o meno di isolante nell'intercapedine e naturalmente della velocità di carbonizzazione dei pannelli per rivestimenti con pannelli a base di legno. Questo vale anche per il caso di controparti interne, come avviene normalmente sia nel sistema XLam, ma anche nel sistema Platform, quando il rivestimento strutturale in OSB o compensato viene applicato sul lato interno.

Ad esempio un rivestimento della parete o di un solaio realizzato con un pannello di cartongesso standard da 15 mm di spessore fornisce un'ulteriore resistenza al fuoco di 19 min se posato con un'intercapedine vuota superiore ai 2 mm di spessore; se l'intercapedine è ad es. di 4 cm ed è riempita con lana di roccia tale valore aumenta fino a 35 min (occorre considerare poi che dopo il collasso del pannello di rivestimento si ha un transitorio, corrispondente alla carbonizzazione di uno strato del pannello di 25 mm, in cui va considerata una velocità di carbonizzazione del pannello doppia, dopo il quale possono essere considerati i valori standard).

Le velocità di carbonizzazione β_0 (considerando l'arrotondamento degli spigoli) e β_n (senza considerare l'arrotondamento degli spigoli) degli elementi strutturali quali travi o pilastri e dei pannelli a base di legno sono definite nell'Eurocodice 5 parte 1-2 (Tabella 3.9).

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Conifere e Faggio		
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica 290 kg/m ³	0,65	0,7
Legno massiccio con massa volumica caratteristica 290 kg/m ³	0,65	0,8
b) Latifoglie		
Legno massiccio o lamellare incollato di latifoglie con massa volumica caratteristica pari a 290 kg/m ³	0,65	0,7
Legno massiccio o lamellare incollato con massa volumica caratteristica 450 kg/m ³	0,50	0,55
c) LVL		
con massa volumica caratteristica 480 kg/m ³	0,65	0,7
d) Pannelli		
Rivestimenti di legno	0,9 ^{a)}	-
Compensato	1,0 ^{a)}	-
Pannelli a base di legno diversi dal compensato	0,9 ^{a)}	-
a) I valori si applicano a una massa volumica caratteristica di 450 kg/m ³ e a uno spessore del pannello di 20 mm; vedere punto 3.4.2(9) per altri spessori e massa volumica.		

Tabella 3.9: Velocità di carbonizzazione di progetto β_0 e β_n per legno, LVL, rivestimenti di legno e pannelli a base di legno [4]

Per quel che riguarda invece la velocità di carbonizzazione dei pannelli XLam non esistono ancora valori di riferimento in normativa. L'unico riferimento applicabile parrebbe essere quello della Tabella 3.9 nella quale per i "pannelli a base di legno diversi dal compensato", viene dato un valore di 0,9 mm/min. Tuttavia tale valore è riferito unicamente a pannelli di spessore uguale o inferiore a 20 mm e pertanto non certamente ai pannelli a strati incrociati. Dalle prove sperimentali finora effettuate si è osservato che in realtà i valori della velocità di carbonizzazione dei pannelli sono più simili a quelli del legno massiccio (0,65 mm/min) che appare l'unico applicabile.

In ogni caso, considerando i pacchetti costruttivi usualmente utilizzati per solai e pareti, le strutture portanti di legno sono generalmente protette dai materiali di rivestimento interni ed esterni, che forniscono un ulteriore grado di protezione al fuoco alle strutture portanti.

Anche la protezione data dal rivestimento esterno dell'edificio ha la sua importanza per impedire che l'incendio che eventualmente si verifichi ad un piano dell'edificio si possa propagare, per combustione dei listelli di supporto del cappotto isolante esterno o dello stesso materiale isolante combustibili, ai piani superiori. Da questo punto di vista l'applicazione di un rivestimento esterno aderente al cappotto è sicuramente da preferire, come è da preferire un rivestimento continuo come l'intonaco rispetto a uno discontinuo come un rivestimento con pannelli di legno-cemento o ceramica o con doghe di legno.

Pertanto, nell'ottica di operare una buona progettazione occorre comunque valutare il comportamento al fuoco non solo delle strutture portanti ma anche dei materiali di finitura, comunque computate nel calcolo del carico d'incendio se di legno e isolanti.

Si riportano di seguito alcuni brevi cenni circa il comportamento al fuoco di alcuni materiali di isolamento e finitura.

Pannelli di fibra di legno

Realizzati generalmente per aggregazione termica di fibre di legno, risultano facilmente infiammabili.

Tuttavia generalmente gli isolanti vengono protetti da uno strato di intonaco o cartongesso o pannello di legno non risultando mai direttamente esposti al fuoco, in tal caso, se il materiale è confinato cioè non è presente una camera d'aria in adiacenza al materiale, il fuoco non riesce a propagarsi all'interno dello strato anche se può rimanere covante; se invece è presente una camera d'aria la fibra di legno brucia ed il fuoco si può propagare anche velocemente all'interno della parete o della copertura.

E' pertanto opportuno che gli isolanti a fibra di legno siano sempre confinati da materiali che contrastino l'afflusso di aria e limitino quindi la propagazione dell'incendio.



Figura 3.4 L'edificio, realizzato con struttura a pannelli di legno massiccio a strati incrociati, è rivestito con pannelli di fibra di legno aderenti alla struttura; il successivo strato di intonaco rende la superficie non infiammabile e impedisce la propagazione del fuoco in facciata.

Pannelli di fibra di legno mineralizzata

Si tratta di pannelli di fibra di legno legata con materiali quali il cemento usati per la realizzazione di rivestimenti isolanti e di controsoffittature.

Rispetto ai pannelli di fibra di legno hanno una maggiore resistenza meccanica, un peso maggiore ed un miglior comportamento al fuoco, in particolare generalmente sono in classe 1 (DM 26/08/84) di reazione al fuoco e conferiscono resistenza al fuoco alle strutture che proteggono (mediamente 1mm di spessore per ogni minuto di protezione al fuoco).

La resistenza al fuoco può essere compromessa dalla presenza dei giunti se mal realizzati, generalmente sui pannelli viene posato un intonaco con rete che garantisce la continuità; questo accorgimento è comunque necessario per qualunque tipo di pannello di rivestimento al quale viene demandata la funzione di protezione al fuoco.

Pannelli di sughero

Il sughero è un ottimo materiale isolante e presenta un buon comportamento al fuoco. Il sughero naturale ha una bassa velocità di combustione senza bisogno di alcun trattamento igniritardante.

Viene generalmente utilizzato in pannelli di media e alta densità o può essere fornito anche in forma granulare.

Anche il sughero viene generalmente classificato in classe 1 o 2 (DM 26/08/84) di reazione al fuoco.

Isolanti sintetici

Dal punto di vista del comportamento al fuoco presentano diversi svantaggi: sono combustibili, propagano velocemente la fiamma, possono emettere fumi tossici e nocivi e in alcuni casi a seguito della combustione si ritirano creando in tal modo delle intercapedini all'interno delle quali il fuoco si propaga molto velocemente.

Sono generalmente classificati in classe di reazione 4 o 5 (DM 26/08/84).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] D.M.Int. 09/03/2007 – “Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco”
- [2] DM 26/08/1992 “Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica”
- [3] L.C. Min. Int. 9/5/89 “Piastrini e travi di legno – Reazione al fuoco”
- [4] UNI EN 1995-1-2: Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio
- [5] L.C.M.Int. 26/11/90 - “Resistenza di strutture portanti in legno”
- [6] D.M.Int. 8/3/85 - Direttive sulle misure più urgenti ed essenziali di prevenzione incendi ai fini del rilascio del nulla osta provvisorio di cui alla legge 7 dicembre 1984, n. 818”
- [7] UNI 9504 “Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di legno”
- [8] L.C. 07/12/87 - “Strutture in legno – Controsoffitti”
- [9] L. C. Min. dell'Interno del 28 Marzo 2008 “DM 9 Marzo 2007 – Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del CNVVF. Chiarimenti ed indirizzi applicativi”.
- [10] Follesa M., Lauriola M.P., *La resistenza al fuoco delle strutture di legno*, Recupero e Conservazione n° 39, De Lettera Editore, Milano.
- [11] Comunicato stampa n. 605 del 14/3/2007 – Provincia Autonoma di Trento
- [12] Bochicchio G., Ceccotti A., Frangi A., Lauriola M.P. (2008), *Natural full-scale fire test on a 3 storey XLam timber building*, Proceedings of 10th World Conference on Timber Engineering (WCTE), Miyazaki, Japan.
- [13] Bochicchio G., Lavisci P. (2009), *Strutture di Legno. Comportamento al fuoco*, L'Edilizia n. 159/2009, De Lettera Editore, Milano.
- [14] Giunta Regionale Toscana, Direzione generale della Presidenza (2009) – “Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana”. AA.VV. Gratuitamente scaricabile all'indirizzo http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito-RT/Contenuti/pubblicazioni/visualizza_asset.html_532170994.html
- [15] Norma CEI 64-8/7 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua” – Parte 7: Ambienti ed applicazioni particolari - Sezione 751 “Ambienti a maggior rischio in caso d'incendio”
- [16] Vito Carrescia – “Impianti elettrici nei luoghi a maggior rischio in caso d'incendio” - Fondamenti di Sicurezza Elettrica - Edizioni TNE, 2009.
- [17] “Impianti Elettrici in Ambienti Legnosi” – TuttoNormel – TNE - Febbraio 2010.
- [18] AA. VV. Giunta Regionale Toscana, Direzione generale della Presidenza – “Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana”, 2009.

Capitolo 4

Esempi di progettazione e voci di capitolato

4.1 LA PROGETTAZIONE INTEGRATA E SOSTENIBILE NEGLI EDIFICI IN LEGNO

4.1.1 INTEGRAZIONE TECNOLOGICA E SOSTENIBILITÀ DEL PROCESSO EDILIZIO

Un sistema integrato, a differenza di un complesso di elementi, è caratterizzato più che dall'insieme di parti, dalle relazioni che operano fra le diverse parti.

Componenti ed elementi strutturali sono materia e strumenti, un sistema integrato sottende una logica organizzativa per rispondere a requisiti relativi all'abitare in sé, all'abitante e all'ambiente in cui tutto è inserito.

La casa come sistema, diciamo non banale, diventa il risultato di un processo in cui le operazioni da svolgere e la successione delle fasi, si differenziano abbastanza dal modo di produzione edilizio convenzionale.

Possiamo individuare all'interno di tale processo cinque fasi operative:

- Progetto
- Verifica ambientale ed economica
- Integrazione degli esecutivi
- Assemblaggio
- Gestione del sistema

È possibile realizzare un manufatto edilizio impiegando materiali e sistemi strutturali differenti, senza alterare la logica organizzativa proposta.

Le strutture in legno hanno specifiche proprietà che li rende appropriati a soddisfare tutti i requisiti necessari all'ottenimento di sistemi integrati e sostenibili. Modalità e tecniche produttive delle case in legno si sono innovate tantissimo negli ultimi anni. Qui non faremo riferimento ad una particolare tipologia costruttiva ma ad una modalità produttiva: il montaggio in opera di componenti semi-prefabbricate. Tale modalità di produzione edilizia presenta molti vantaggi dal punto di vista culturale e sociale ma soprattutto rappresenta un'ottimale transizione (soprattutto in Italia) dalla convenzione all'innovazione.

4.1.2 PROGETTAZIONE DI SISTEMI INTEGRATI

Nel passaggio da un cantiere convenzionale ad un cantiere di architettura integrata sostenibile l'incidenza del lavoro progettuale rispetto a quello di direzione delle opere cambia radicalmente.

Nel realizzare un edificio che deve rispondere a precisi requisiti di qualità ed efficienza, utilizzando sistemi con differenti gradi di prefabbricazione e prevalentemente a secco, il ruolo

e rilievo che hanno progetto e programmazione rispetto alla gestione del cantiere è rovesciato. Non solo i tempi del cantiere sono fortemente ridotti, ma quest'ultimo diventerebbe un caos inoperante se gli elaborati tecnici e di logica dei sistemi non fossero correttamente definiti con particolare attenzione a:

- analisi delle risorse e delle peculiarità climatiche del sito;
- tipologia strutturale;
- montaggio a secco;
- integrazione tecnologica;
- efficienza energetica;
- qualità ambientale interna.

In tal caso la definizione progettuale dell'edificio, deve contenere soluzioni che ben integrano elementi dei tre principali ambiti di intervento: tipologia strutturale, sistemi tecnologici, finiture (inteme ed esteme). Più il processo di definizione svilupperà in forma integrata gli ambiti suddetti meno cambiamenti inattesi si avranno in fase di verifica finale.

Va da sé che se il progettista possiede tutte le competenze, i tempi del processo sopra descritto si riducono notevolmente. Dato che è raro trovare tale situazione, per ottenere un progetto di edificio come sistema integrato è opportuna, come già accennato in precedenza, la costituzione di un gruppo interdisciplinare di lavoro ben differenziato per competenze specialistiche.

148

La stessa équipe è fondamentale per la programmazione dell'intero processo costruttivo, sia in fase di elaborazione ma soprattutto in fase di produzione delle componenti e di assemblaggio delle stesse in opera.

Analizziamo, quindi, come le scelte eseguite per ognuno dei tre settori sopra definiti, caratterizzano il lavoro di elaborazione progettuale, partendo dal presupposto che il legno non è presente solo come componente strutturale.

Tipologia strutturale. Attualmente sono in uso diverse tipologie strutturali in legno: Pannelli Portanti a Strati Incrociati o XLam, Platform Frame, e altri sistemi meno utilizzati e non trattati nell'ambito di questa pubblicazione quali Blockhaus, strutture intelaiate a travi e pilastri, ecc.. In un sistema portante a sezione ridotta, le componenti di chiusura sono definite dalla combinazione per strati di elementi architettonici ed impiantistici articolati in tre sottosistemi: involucro esterno, struttura portante ed involucro interno.

Nelle opere a secco la struttura non svolge solo la funzione di trasmissione dei carichi al suolo, è il supporto per i due involucri, per gli impianti e per le finiture. Gli orizzontamenti e le elevazioni sono composti da stratificazioni di elementi fisici con precise sequenzialità e relazioni funzionali.

Tutte le tipologie strutturali in legno succitate presentano ottime capacità di connessione ed integrazione delle varie componenti che costituiscono gli involucri interni ed esterni. In particolare i pannelli a strati incrociati, come tutti i sistemi a piani strutturali continui, presentano i seguenti vantaggi:

- le connessioni con altre componenti non sono vincolate alla discontinuità degli elementi portanti;
- la produzione industriale ad alta precisione di questi elementi strutturali permette di poter disporre, in fase progettuale, di un riferimento fisico invariante a cui associare altre componenti o dispositivi.

Per i sistemi costruttivi ad elementi discreti (telai o telai e pannelli) il passo degli elementi portanti è un vincolo importante di riferimento per tutte le altri componenti da assemblare. In tal caso il passo dovrà uniformarsi all'elemento di chiusura dominante, o meglio alle sue misure. Purtroppo in molti casi le misure degli elementi che costituiscono la stratificazione del pacchetto di chiusura non sono unificate.

A volte occorre creare un'opportuna alternanza di elementi puntuali e superfici piane, tenendo conto che le superfici spesso sono costituite da elementi sottili quindi con una portanza limitata.

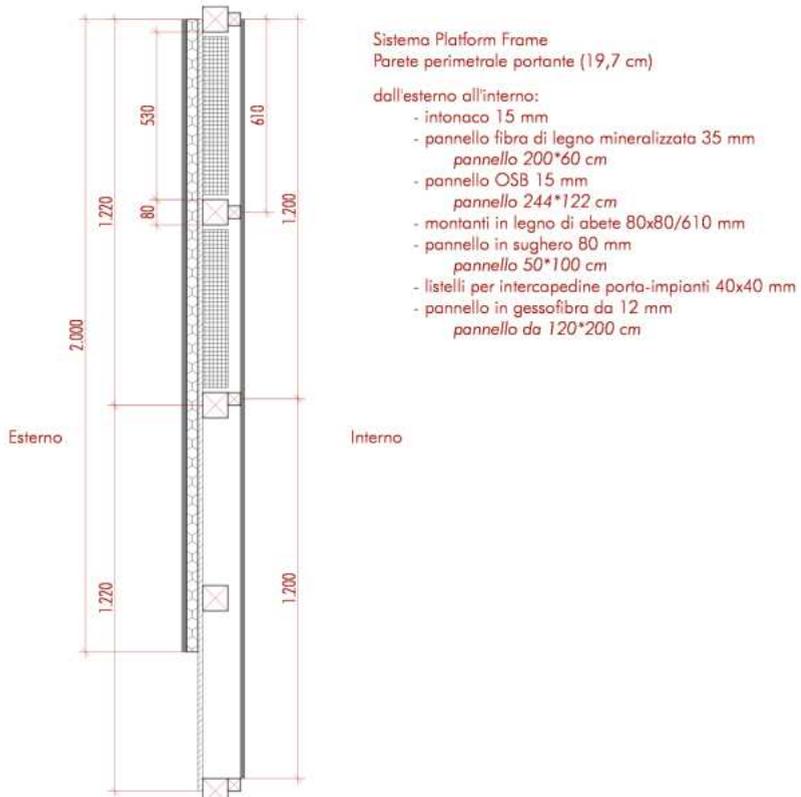


Figura 4.1: In una parete realizzata col sistema PlatformFrame, all'interno, il passo di 122 cm dell'OSB e dei montanti si associa male con le dimensioni del pannello di sughero (ma anche con quello in fibra di legno) e ancora peggio con il passo del cartongesso o fibrogesso. Soluzioni possibili, diversamente onerose in funzione dei contesti, sono rifilare i pannelli OSB, realizzare un'ulteriore orditura di montanti interni con passo 120 cm. All'esterno lo stesso passo dell'OSB è incompatibile con le dimensioni di eventuali pannelli in lana di legno mineralizzata (200 cm).

È evidente che in un sistema a secco buona parte del lavoro di progettazione è dedicato alle modalità di connessione fra componenti e sistemi nelle differenti scale.

Per tutte le tipologie di strutture in legno attualmente in uso, il grado di flessibilità in termini di varianti significative in corso d'opera degli aspetti formali e dimensionali è abbastanza basso. Una volta avviato il piano di taglio o montati i telai, modifiche significative possono richiedere lo smontaggio e la riproduzione delle porzioni interessate. Ciò è possibile, a volte non richiede tempi eccessivi, ma incide sui costi ed in un certo senso annulla diverse qualità che caratterizzano la tecnologia del legno: costi, tempi e programmazione.

Impianti tecnologici. Negli edifici in legno, l'elemento strutturale (ad esclusione di alcune tipologie in blockhaus) è centrale nella stratigrafia tipica degli elementi di chiusura (verticali ed orizzontali). Il lato interno è composto da una intercapedine contenente principalmente gli impianti tecnologici con parte della coibentazione ed altri cavedi di servizio. L'intercapedine interna può essere considerata continua tra parete – pavimento – parete ed a volte anche col soffitto; il progetto deve controllare la distribuzione sui piani ottimizzando l'ingombro (riduzione delle sezioni dell'intero pacchetto di chiusura) ed evitando sovrapposizioni problematiche, soprattutto nei piani di calpestio dove passa la maggior parte del cablaggio delle varie reti. Nel caso in cui si installino impianti ad irraggiamento a pavimento è bene dividere i piani orizzontali in specifiche aree di servizio per i vari impianti.

Pertanto in fase di progettazione l'integrazione impiantistica incide sui seguenti aspetti:

- sezioni dei pacchetti con razionalizzazione della stratificazione delle reti e programmazione dell'ordine di assemblaggio;
- controllo delle forature degli elementi strutturali (evitando di ridurre le sezioni resistenti della struttura) sia orizzontali che verticali;
- passaggio di reti elettriche e canne fumarie attraverso gli elementi lignei, fattibile ma con opportune precauzioni;
- definizione della continuità di collegamento, soprattutto nelle strutture a telaio, fra struttura, impianti, finiture ed eventualmente arredo.

Finiture. Per la progettazione delle componenti di finitura, nelle strutture lignee occorre dedicare molta attenzione a tre aspetti peculiari di questo materiale:

- una adeguata predisposizione di dispositivi di protezione esterna dagli agenti atmosferici, incide sulla efficienza e durabilità dei materiali come sulla qualità dell'ambiente interno più dell'uso di sostanze chimiche che spesso si dimostrano nel tempo inutili;
- la difesa degli elementi strutturali, all'interno, da eventuali imprevisti danni agli impianti soprattutto idrico e termico (se idronico);
- la considerazione che in una casa a struttura di legno il materiale è soggetto ai fenomeni di ritiro e rigonfiamento al variare delle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente circostante, sempre.

Per le finiture come per gli impianti e la struttura, il ruolo del progetto nella definizione dettagliata di tutti le componenti e relativi collegamenti è fondamentale per una struttura a secco anche se non totalmente prefabbricata, per la semplice constatazione che modificare in opera non solo non conviene ma soprattutto spesso non è possibile a meno di radicali ed onerosi cambiamenti.

4.1.3 VERIFICA AMBIENTALE ED ECONOMICA

Si è scelto di suddividere le fasi di verifiche progettuali in due parti data la peculiare procedura amministrativa italiana per l'ottenimento delle dovute autorizzazioni, peculiarità data dalla 'ferrea' applicazione dei regolamenti nella gestione quantitativa dello sviluppo e dalla scarsa attenzione ai requisiti di qualità ed efficienza.

Amministrativamente ciò che vale e determina le regole del gioco è la massimizzazione della produzione volumetrica e laddove si pongono specifici vincoli paesaggistici o architettonici il fine è non solo il lecito tutelare il patrimonio esistente ma anche prescrivere condizioni formali e materiali alle nuove costruzioni (ingerenze sulle scelte compositive del progettista).

Pertanto è opportuno, date le specificità delle case di legno e per ottimizzare tempi ed economia ed evitare inutili approfondimenti tecnici, suddividere la produzione di elaborati e verifica in due fasi, pre e post autorizzazione.

Negli edifici in legno è importante definire, nella prima fase (autorizzativa) con sufficiente precisione:

- la tipologia della struttura portante. Nel comporre superfici e volumi, oltre a rispettare le norme urbanistiche è bene verificare la fattibilità strutturale; le necessità di calcolo nel rispetto della normativa antisismica potrebbe comportare modifiche tali da richiedere un ulteriore passaggio autorizzativo. Le prefigurazioni formali di un fabbricato devono necessariamente rispettare le norme quanto le specificità fisico meccaniche della materia utilizzata;

- i pacchetti tecnologici. Nel definire i pacchetti di chiusura dell'edificio è importante stabilire in questa fase i materiali che lo compongono e le soluzioni impiantistiche da adottare per l'incidenza che questi hanno sulle dimensioni delle sezioni e in caso di scelte prestazionali particolari, sui costi. Due gli aspetti principali da valutare: le caratteristiche termotecniche dei materiali di chiusura incidono sulla sezione della tamponatura in funzione della classe di efficienza energetica che si vuol raggiungere (al netto degli incentivi volumetrici per il risparmio energetico); le scelte tipologiche degli impianti soprattutto se integrati o la presenza o meno di impianti con particolari esigenze di posa (es. aspirapolvere centralizzato);

- finiture esterne. In presenza di vincoli paesaggistici o architettonici, per gli edifici in legno a secco, conoscere le caratteristiche fisico tecniche dei materiali di finitura esterna è importante nella scelta dei sistemi di stesura o di collegamento, ciò può comportare modifiche sulla combinazione dei pacchetti tecnologici e quindi sulle dimensioni degli stessi.

Ad autorizzazioni ottenute l'elaborazione dettagliata degli esecutivi strutturali, architettonici ed impiantistici passa per due altre importanti verifiche, quelle ambientali ed economiche.

Negli edifici in legno si sta consolidando l'uso di derivati del legno o altre fibre vegetali nella produzione dei pacchetti di chiusura e nelle finiture. La scelta non è solo di natura ecologica, ma anche di prestazioni e di comfort ambientale interno. In questi casi la verifica di sostenibilità ambientale è di per se data.

Per alcuni dei prodotti maggiormente utilizzati nell'edilizia convenzionale è stato calcolato l'incidenza ambientale presente in tutte le fasi della vita del prodotto. Lo strumento più diffuso per tale analisi è L.C.A. - Life Cycle Assessment (per le aziende si adottano le certificazioni ISO 14040, 14041, 14042, 14043). Per la maggior parte dei prodotti non si conoscono questi

dati né sono di facile determinazione. C'è chi mette in dubbio la stessa efficacia degli strumenti di calcolo e di certificazione.

Dal nostro punto di vista basterebbe porre attenzione a pochi ed essenziali requisiti nell'uso di prodotti per l'edilizia:

- le materie da cui è derivato (vegetale, minerale, sintetico);
- la tipologia dei processi produttivi (consumo di suolo, acqua, energia, e produzione di scarti solidi, liquidi o gassosi pericolosi);
- la provenienza e tipologie di trasporto nella distribuzione;
- il consumo di altre risorse naturali o emissioni di sostanze tossiche in fase di montaggio e di gestione;
- valore del prodotto a fine vita funzionale.

L'uso di materiali naturali non comporta alcuna rinuncia dal punto dell'efficienza e prestazioni, nella maggior parte dei casi l'ostacolo che incontrano i più è di natura informativa, economica e di accessibilità al mercato.

Per le verifiche economiche delle soluzioni adottate diffusamente nelle strutture in legno (molte utilizzate generalmente nelle strutture a secco) occorre tenere presente che:

- la documentazione ufficiale è scarsa e non sempre affidabile visto che sino ad oggi la maggior parte della produzione di edifici in legno è prevalentemente prefabbricata o gestita dai grossi gruppi del settore;

- non è possibile adottare un confronto comparativo con le voci di costo abituali in quanto troverete che buona parte degli elementi strutturali sono contemporaneamente facile supporto di componenti tecnologici oppure già elementi divisorii interni su cui non potrebbero servire profili per fissaggio di elementi di finiture o potrebbero non servire finiture;

- va valutata l'economia prodotta dalla riduzione dei tempi di cantieri;

- le case di legno se realizzate con materiali edili convenzionali (non bioecologici) risultano, a parità di efficienza meccanica ed energetica, concorrenziali agli edifici in laterizio portante (o altra tipologia di blocchi) e in latero-cemento. Nel caso in cui, cosa auspicabile, venga completato con componenti in bioedilizia il costo può aumentare mediamente del 10%;

- dal punto di vista tecnologico, gli impianti ad alta efficienza, comprensibilmente, hanno costi maggiori degli impianti convenzionali ma in questi casi il maggior costo è di fatto un'anticipazione di capitale facilmente ammortizzabili con i successivi mancati costi di gestione (non solo energetici);

- la realizzazione di intercapedini porta impianti all'interno e all'esterno della struttura portante lignea permette una facile integrazione e assemblaggio e conseguente riduzione di tempi e costi di posa.

I vantaggi concessi dall'uso di tecnologie integrate con strutture in legno, possono essere compromessi se, nei casi di montaggio degli edifici in sito, non ci sia o sia scarsa la diffusione commerciale in ambito locale (diciamo almeno regionale) dei materiali necessari a realizzarli.



Figura 4.2: Casa per civile abitazione, spazi interni definiti dagli elementi strutturali in pannelli di legno portanti ed integrazione tecnologica di pavimento radiante (Casa Mazza, Linguaglossa, Catania).

4.1.4 RIMODULAZIONE ESECUTIVA

A verifica eseguita del progetto, o meglio dei progetti abitualmente suddivisi in architettonico, strutturale ed impiantistico, l'integrazione dei singoli progetti specialistici avviene mantenendo sia da un punto di vista logico funzionale che fisico delle costanti di riferimento e cioè:

- l'organizzazione complessiva del sistema;
- i piani o telai strutturali, verticali ed orizzontali;
- i livelli di stratificazione distributiva.

153

Ogni progetto di sistema ha un proprio schema funzionale in cui sono evidenziate le parti fondamentali che lo costituiscono e le relazioni (connessioni) fra le parti.

Un importante lavoro nell'elaborazione degli esecutivi è mettere in relazione i vari sistemi sia dal punto di vista funzionale che fisico. Ci sono due strumenti utili in merito, il flow chart e gli elaborati costruttivi. Da un lato la logica funzionale fra sistemi rappresentata appunto dal diagramma dei flussi, e dall'altro la collocazione fisica degli stessi.

I principali flussi e cicli che producono e definiscono il livello di comfort e qualità dell'abitare sono ovviamente acqua ed energia; entrambi i cicli possono essere suddivisi in acquisizione (input, ingresso, generazione, ecc.), uso (distribuzione, diffusione) e scarto (output, uscita). Va da sé che un edificio contenente un adeguato livello di comfort e definito ad alta efficienza non può che ridurre il fabbisogno di acquisizione di fonti in ingresso, ottimizzarne la distribuzione, e ridurre e/o recuperare gli scarti in uscita. Strutture, componenti e finiture naturali e soprattutto in fibre vegetali garantiscono ottime risultati in tutte e tre le suddette fasi di gestione ma anche in fase di produzione e di fine esercizio, ossia sull'intero ciclo di vita del manufatto.

Il corretto funzionamento dei cicli in sé e nell'interazione deve essere effettuato da un appropriato sistema di **controllo** con livelli di automazione variabili. La massima automazione corrisponde alla minima partecipazione dell'utenza e spesso ad una minima consapevolezza dei meccanismi che producono qualità al proprio abitare; la minor automazione corrisponde alla massima partecipazione dell'utenza alla messa in esercizio dei vari sistemi tecnologici.

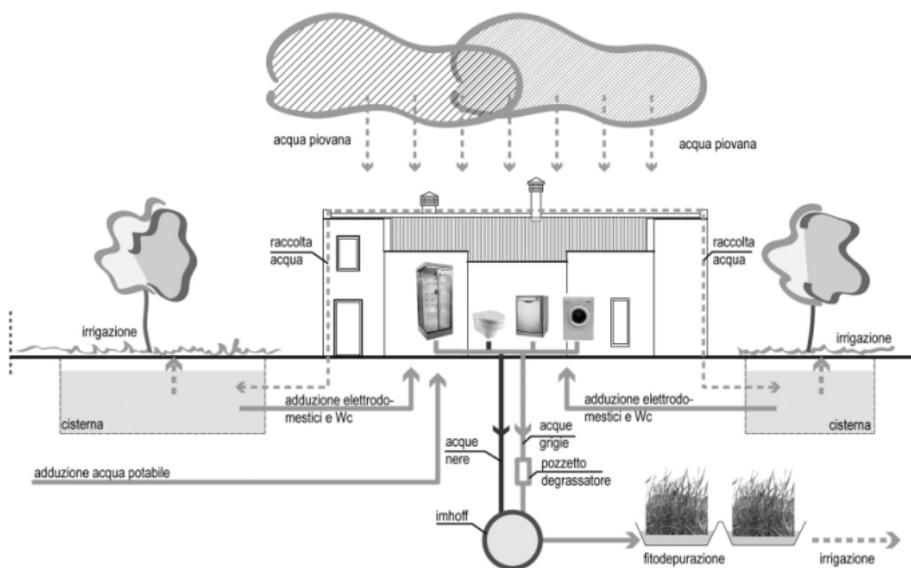


Figura 4.3: Ciclo dell'acqua

154

Quanto suddetto in termini di logica funzionale trova la sua concretizzazione fisica non solo in appositi spazi dedicati (vani tecnici, cavedi) ma soprattutto dentro e fra le componenti architettoniche (pareti, solai, ecc.) che costituiscono il fabbricato.

I piani strutturali verticali ed orizzontali sono i supporti delle componenti impiantistiche che si collocano con una precisa sequenza in funzione di specifiche esigenze di posa (distribuzione delle linee, curvature, pendenze) e della flessibilità dei singoli impianti.

Ottimale è destinare singoli piani di posa per ogni tipologia di impianto (in questo modo i punti critici di sovrapposizione si ridurrebbero nei passaggi dal piano verticale o quelli orizzontali e viceversa) con un inconveniente non secondario rappresentato dall'aumento della dimensione delle sezioni dei piani e del loro peso.

Nelle case di legno (come in buona parte delle tipologie a secco), possono essere individuate delle costanti nella distribuzione delle componenti tecnologiche che compongono gli involucri interni ed esterni, soprattutto delle componenti termotecniche.

Una stratigrafia abbastanza comune è la seguente (dall'esterno verso l'interno e dall'alto verso il basso):

- rivestimento esterno (a umido o a secco e ventilato);
- intercapedine integrata per isolamento termico, cavedi e supporti passanti d'ancoraggio (per la connessione di elementi portati esterni alla struttura portante);
- struttura portante;
- intercapedine integrata per isolamento, distribuzione impianti, camere di ventilazione naturale o forzata, supporti passanti di ancoraggio;
- rivestimento interno.

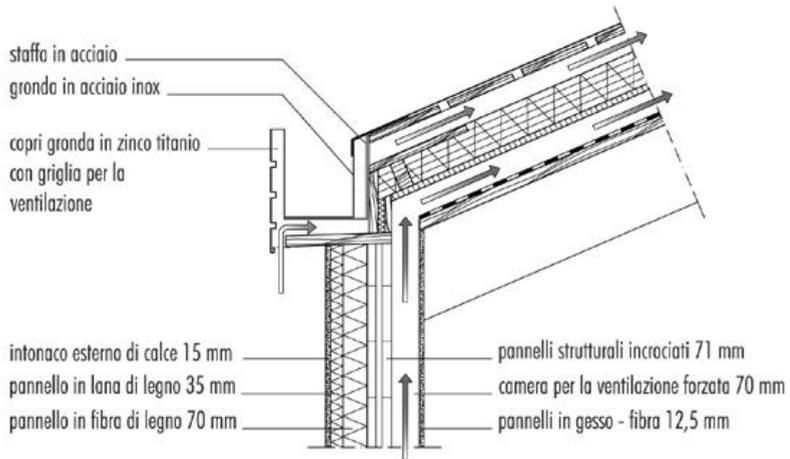


Figura 4.4: Dettaglio di parete di tamponamento e copertura in legno; la struttura è munita di cappotto esterno e camera di ventilazione forzata interna (ed intradossale nella copertura) distinta dalla ventilazione a circolazione naturale della copertura.

La composizione stratigrafica degli orizzontamenti interni, nella maggior parte dei casi (soprattutto nell'edilizia residenziale) contiene solo una delle due intercapedini integrate, quella esterna o superiore (nella successione dei piani dall'alto verso il basso). In caso di solai o coperture lignee a vista, viene escluso, ovviamente, il rivestimento interno o inferiore. L'abilità del progettista, in questa fase, sta nel riuscire ad inserire nelle componenti di chiusura su definite tutte le componenti tecnologiche integrando con efficacia componenti architettoniche, tecnologiche e di finitura.

155

In strutture a secco semi-prefabbricate e montate in sito, per riuscire a gestire in forma integrata tutte le scelte – strutturali, architettoniche, tecnologiche – occorre ri-disegnare i dettagli costruttivi rimodulando componenti e soluzioni funzionali settoriali in un unico assemblato che continui a garantire le esigenze prestazionali di tutti gli elementi che concorrono a definire il sistema.

E' con la rimodulazione degli esecutivi che si effettuano le ultime verifiche di compatibilità ed integrazione tecnico-funzionale necessaria per avviare la fase di assemblaggio.

4.1.5 CONTROLLO DELLE FASI DI MONTAGGIO

Come premesso ed argomentato, nella realizzazione di edifici in legno sostenibili le fasi di progettazione, verifica e programmazione assorbono buona parte del lavoro dei tecnici e del tempo necessario alla chiusura dell'intero ciclo produttivo.

La riduzione dei tempi di cantiere sono dovuti all'interazione di diversi fattori:

- le caratteristiche specifiche della tipologia strutturale (il legno);
- il montaggio a secco;

- il livello di definizione degli elaborati progettuali;
- la certezza dimensionale necessaria per permettere di produrre e/o organizzare buona parte delle componenti con l'anticipo sufficiente a rispettare i tempi programmati;
- facilità di programmazione delle fasi di montaggio.

In cantiere, il lavoro svolto dalla Direzione è prevalentemente un lavoro di coordinamento della distribuzione nel tempo di materie ed operatori.

Particolare attenzione è da porre agli ancoraggi (nodi), fatto valido per qualsiasi tipologia strutturale si scelga, così per le tipologie in legno, dove le connessioni sono semplicissime, di facile e di veloce realizzazione ma realizzate con materiali con diverse caratteristiche fisiche e meccaniche, (solitamente legno e acciaio) e difficilmente modificabili una volta messi in opera a scapito non tanto dei costi quanto dei tempi.

4.1.6 GESTIONE DEL SISTEMA

Nella gestione e regolazione degli impianti tecnologici applicati in una struttura a sistema integrato, non vi sono particolari indicazioni specifiche per le tipologie in legno.

In tutti i casi le scelte impiantistiche che determineranno una maggior o minor interazione dell'utenza con tutti i dispositivi di controllo, è fatta a monte. Tale interazione o dipendenza (utenza – gestione/controllo) è determinata dalla scelta dei singoli sistemi e loro interazioni:

- sistemi passivi (serra, giardino d'inverno, camino solare, muro di trombe);
- sistemi attivi (solare termico ad acqua o aria, fotovoltaico, eolico, geotermia);
- circolazione naturale o forzata dei flussi;
- sezionamento tecnico e funzionale degli impianti;
- controllo meccanico o elettro-meccanico.

Di fatto, non è appropriato parlare di sistemi sostenibili se non si rispettano alcuni principi fondamentali in merito ai consumi energetici e all'efficacia degli impianti ai quali è fatto carico la produzione del comfort ambientale interno.

Infine, nella realizzazione degli impianti, si deve intervenire su quanti più possibili livelli di integrazione e di ottimizzazione dell'efficienza, e precisamente su:

- integrazione architettonica (es. pavimenti, pareti e soffitti radianti, pannelli solari a tetto o parete ecc.);
- integrazione funzionale di sistema nelle fasi di diffusione, distribuzione e generazione (utilizzo degli stessi dispositivi di diffusione, reti di distribuzione e fonti di generazione – rinnovabili e non – per il condizionamento invernale ed estivo).

Principio base imprescindibile, indipendentemente da un uso razionale dell'energia, dall'utilizzo di impianti ad alta efficienza o dallo sfruttamento di energia rinnovabile, è la riduzione dei consumi, nel condizionamento termico come nel consumo di energia elettrica, concordi nel ritenere che la migliore energia è quella non prodotta (consumata).

4.2 ESEMPI DI PROGETTAZIONE DI EDIFICI IN LEGNO PER L'EDILIZIA SPORTIVA

CASO 1: LO STABILIMENTO BALNEARE SUL BILANCINO

La scelta dello stabilimento balneare sul Bilancino come caso studio è determinata dal fatto che è stato pensato, subito dopo le prime fasi progettuali, come complesso da realizzare con strutture in legno, materiali biologici e sistemi ad alta efficienza energetica. A differenza di quello che abitualmente si crede in merito ai maggiori costi contenuti nelle scelte operate con soluzioni ad alto contenuto di qualità ed efficienza, le più recenti innovazioni in campo strutturale, sui materiali e complementi architettonici e sugli impianti hanno dimostrato che l'incidenza economica in termini di maggior costo non hanno alcun fondamento, almeno oggi. L'intervento in oggetto ha suscitato interesse anche per un altro aspetto non secondario dal punto di vista promozionale ed economico: l'individuazione di funzioni ed attività integrate. Nello stabilimento, ovviamente, sono previsti servizi ed attività che ruotano intorno al 'corpo' (spazi per attività fisica, campi da gioco, pista ciclabile, centro benessere ed estetico) ed alle attività ludico ricreative (ristorante, pizzeria, bar, ludoteca).



Figura 4.1: Planimetria dell'intervento con individuazione delle varie funzioni e attività previste nei diversi ambienti.

In sostanza le attività dedicate alla cura del corpo, sia in termini funzionali che di benessere, assieme alle attività ricreative si svolgono all'interno di spazi configurati e costituiti secondo principi, materiali e tecniche biologiche, ossia, la cura del 'corpo' e dell'ambiente in cui ci si muove è presente già nella definizione e materializzazione degli spazi in cui tale cura si esercita.

La scelta bioecologica

Un contenitore che definisce uno spazio vita, un 'ambiente' interno, si costituisce di materie e dispositivi opportunamente assemblate per l'ottenimento delle migliori condizioni di comfort per chi lo abita. I fattori su cui un involucro, come su definito, interviene sono essenzialmente tre: aria, acqua (umidità), temperatura, e la combinazione dei risultati ottenuti sui tre fattori, o meglio il corretto equilibrio tra le parti definisce il livello di comfort interno all'abitare.

Entrando in un fabbricato, difficilmente si associa il senso di disagio o benessere alle caratteristiche fisiche dell'edificio, e ancor meno all'involucro che lo definisce, che ne fa una porzione distinta dal contesto ambientale in cui è inserito. Di fatto, l'involucro ha il compito di "conservare" condizioni confortevoli all'interno, indipendentemente dall'andamento climatico esterno, e ciò può avvenire chiudendolo totalmente, aprendolo, rendendolo più o meno permeabile, e soprattutto utilizzando o meno le risorse naturali presenti in sito integrando in vario modo con apporto energetico esterno.

Qui non si vuole trattare sull'importanza delle questioni energetiche, ovviamente coinvolte nella produzione di comfort ambientale interno, quanto delle condizioni fisiche, ed in un certo senso, chimiche, dello stato confortevole richiesto. Sperimentandolo direttamente, è facile comprendere che in una cantina naturale ci si sente meglio che in un vano frigorifero (chiamata non casualmente cella) indipendentemente dal fatto, non secondario, che il secondo richiede un apporto energetico enorme rispetto al primo (in cui potrebbe essere nullo). Questo perché il piacere dell'abitare è prodotto dalla combinazione di fattori termici, igrometrici e di qualità dell'aria, e per quanto il mercato di produzione edile fa fatica ad accettarlo, questo risulta lo si ottiene realizzando un involucro con materiali e dispositivi appropriati, che abbiano un'elevata capacità coibente senza ridurre il coefficiente di traspirabilità e la capacità di assorbire e cedere naturalmente umidità (cfr. § 3.2)

In tal senso, le strutture in legno rendono più semplice il raggiungimento di questo obiettivo, essendo dal punto di vista biofisico fortemente compatibile con tutti i materiali utilizzati dalla bioarchitettura necessari per la realizzazione dell'involucro così come prima descritto. Fra questi, il legno stesso e suoi derivati, altre fibre vegetali ed animali, oli e cere naturali, calci aeree e idrauliche, ecc..



Figura 4.2: Diverse tipologie di cappotto esterno per edifici in legno a pareti portanti.

Quando struttura, componenti architettoniche, impianti e finiture, partecipano in proprio ed in forma integrata a produrre comfort e qualità ambientale interna, in generale si può dire di trovarsi davanti ad un caso di 'buon costruire'. Se il fabbricato o complessi di fabbricati, vengono realizzati per ospitare funzioni ed attività finalizzate alla cura del corpo in tutti i suoi aspetti (prestazionali, salute, nutrizionale, ecc.) allora è d'obbligo costruire con criteri tali che quelle stesse funzioni ed attività possano svolgersi nelle migliori condizioni fisiche interne e nel rispetto dell'ambiente in cui il complesso è inserito. Dovrebbe essere un invariante dei processi produttivi, e soprattutto edili, produrre manufatti in sé sani, come si vorrebbe la vita svolta in essi e fuori dagli stessi, nell'ambiente.

Configurazioni spaziali e differenze tipologiche delle strutture in legno

Come si può constatare dalla configurazione planimetrica, il complesso in oggetto ha sviluppi spaziali molto diversi per ampiezza fisica e geometria. In casi del genere, sia per differenti capacità meccaniche che per efficacia economica è stato scelto di utilizzare diverse tipologie strutturali in legno a secondo, appunto, delle prestazioni e configurazioni richieste, ottimizzandone gli elementi strutturali e relative incidenze quantitative ed economiche.

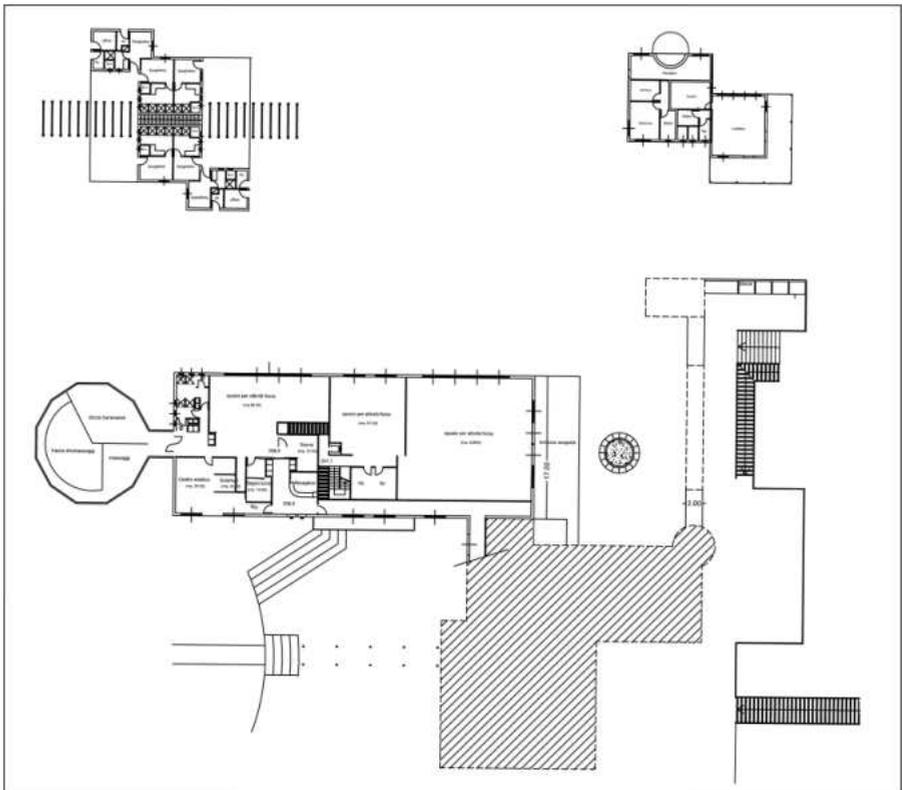


Figura 4.3: Pianta architettonica.

Pertanto si hanno sia il classico sistema a telaio, con piccola e grande orditura, il sistema PlatformFrame e quello a pannelli strutturali a tavole incrociate XLam.

In alcuni corpi si avranno tipologie miste con piani e nervature strutturali, questo per permettere, laddove necessario, di avere ampie luci libere (centro benessere e sale per attività ginniche).

Per i corpi di fabbrica destinati agli spogliabi dei campi da gioco e all'info-point, cioè per le tipologie compatte con planimetria interna articolata, verrà utilizzato il sistema platform frame, probabilmente una delle tipologie strutturali più economiche presenti sul mercato.

La scelta della tipologia strutturale in funzione delle caratteristiche quantitative degli spazi a cui sono destinate non inficia la qualità o le prestazioni della struttura stessa: grandi spazi = grande struttura = maggiori costi = migliori prestazioni. Le qualità del sistema strutturale, sia meccaniche che in termini di durabilità non sono compromesse dalle sue caratteristiche fisiche specifiche. Si tratta di scelte appropriate che mirano all'ottimizzazione delle prestazioni fisico meccaniche della struttura in funzione delle caratteristiche spaziali e funzionali. Tutte le altre componenti che compongono i vari fabbricati rispondono ai medesimi requisiti di qualità ed efficienza.



Figura 4.4: Particolari del pacchetto di copertura in un edificio in legno.

Ciò che rende interessante tale approccio è l'elevata flessibilità del sistema costruttivo. La capacità di offrire risposte specifiche, fortemente caratterizzanti, rendendo possibile la combinazione di diverse tipologie sullo stesso corpo di fabbrica. Nel caso in cui si dovesse costruire un edificio con tecnica mista, acciaio – mattoni – C.A., anche in termini di calcolo e modellazione si presentano delle difficoltà in merito alla non omogeneità di struttura e nell'individuazione della tipologia prevalente nel riguardo del comportamento nei confronti delle azioni orizzontali.

Nel caso del legno, cambiando la tipologia in funzione di specifiche condizioni al contorno, gli elementi portanti restano sempre legno e ferramenta.

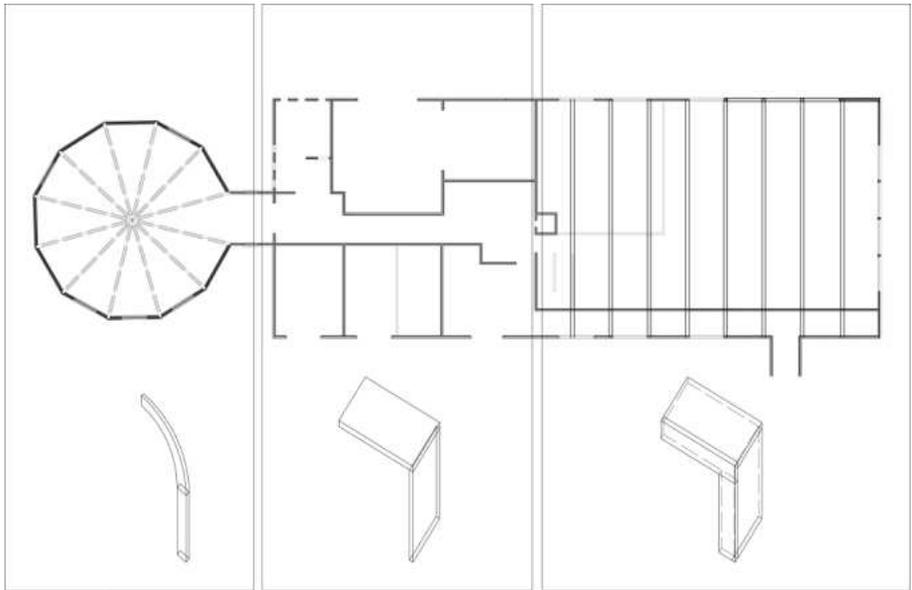


Figura 4.5: Studi delle soluzioni costruttive per l'edificio destinato all'area wellness e attività fisiche.

Nel progetto, sfruttando al meglio le differenti caratteristiche tipologiche, gli spazi sono stati opportunamente aggregati nel rispetto delle logiche funzionali di un centro balneare nel suo insieme e in base alle normative specifiche, cercando, inoltre di associare spazi ampi liberi con blocchi più articolati a vantaggio delle rigidità complessive.

161

Vi sono, naturalmente delle differenze nella scelta di alcune componenti in funzione delle diverse tipologie, soprattutto in ambito di fissaggi e connessioni fra elementi portanti, impianti e finiture, riconducibili in funzione delle caratteristiche geometriche degli elementi portanti a tre classi di riferimento:

- piani continui;
- elementi discreti;
- combinati di piani e telai.

Tali differenze incidono sull'integrazione tecnologica e sul montaggio delle componenti di finitura. In merito si rinvia al primo paragrafo di questo capitolo sulla progettazione di sistemi integrati.

Nello specifico, le componenti architettoniche, relativi materiali e i sistemi tecnologici per la realizzazione degli impianti di condizionamento e controllo climatico rispondono ai requisiti definiti dalla progettazione bioecologica e dalla scelta di ridurre i consumi energetici.

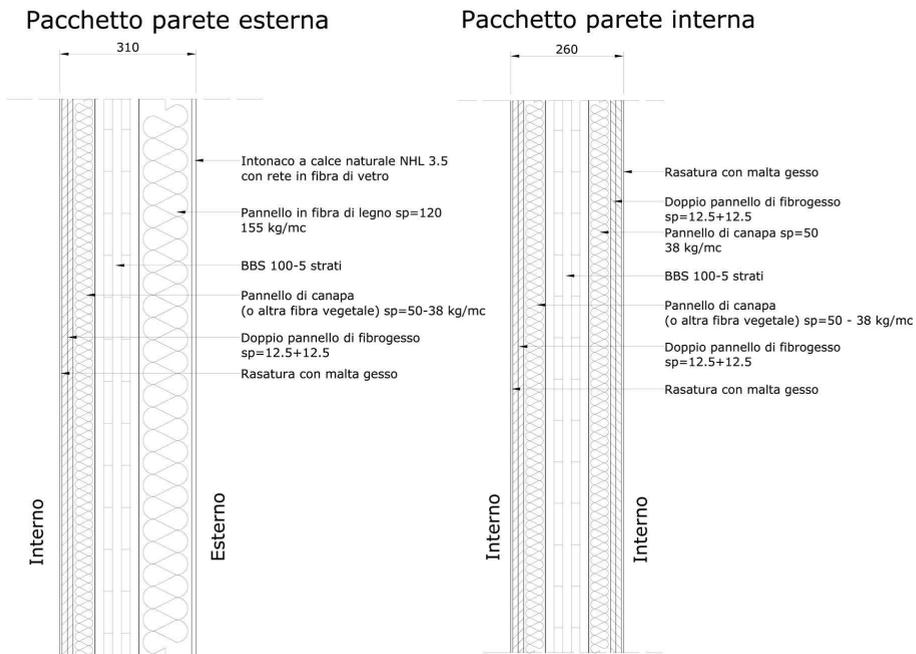


Figura 4.6: Pacchetti costruttivi per pareti interne ed esterne

Nel definire gli elementi di chiusura dei singoli corpi ovviamente sono state affrontate problematiche generiche comuni alla maggior parte dei sistemi di costruzione a secco ed in particolare alle strutture in legno.

Peculiare dell'intervento è l'uso dei materiali e dei dispositivi tecnologici per il trattamento climatico, che se generalmente valido per gli insediamenti finalizzati all'attività sportiva, cura e benessere del corpo, qui giocano un ruolo importante il materiale legno, suoi derivati e altri materiali specifici dell'edilizia biologica.

Pacchetto solaio piano terra e particolare collegamento a terra della parete

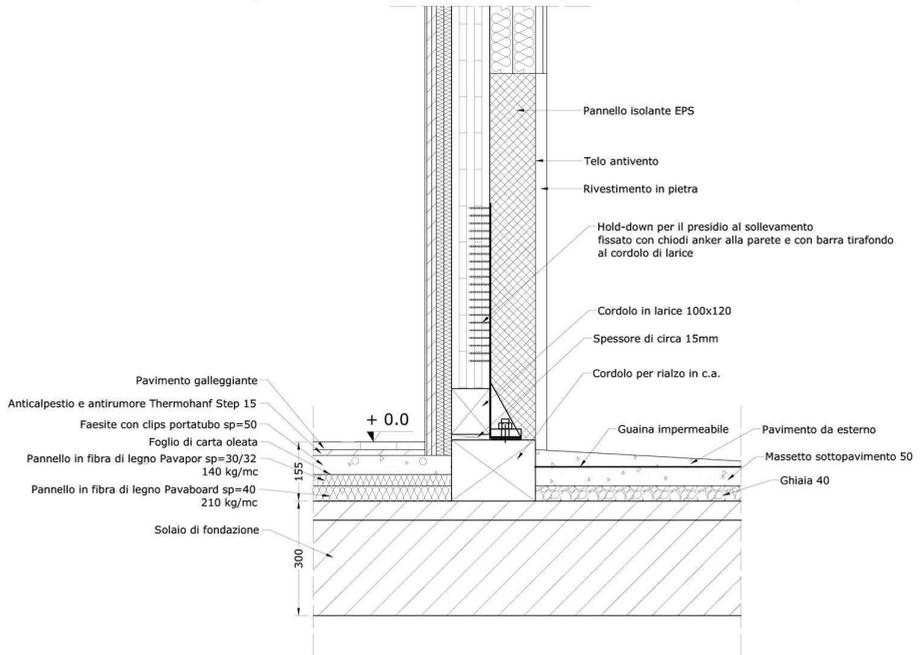


Figura 4.7: Dettaglio del nodo parete-solaio piano terra.

Più esattamente possiamo definire gli interventi, in funzione dell'incidenza che materiali e tecnologie hanno sui risultati finali, in due gruppi:

- attività speciali per condizioni fisico ambientali interne ed indipendenti dalle condizioni ambientali esterne e relativi cambiamenti stagionali;
- attività varie con produzione di comfort interno ordinario dipendente dalle variazioni climatiche stagionali esterne.

Alle prime fanno riferimento tutti quegli spazi adibiti a funzioni che richiedono condizioni ambientali particolari finalizzati a trattamenti biofisici, ossia alla maggior parte delle attività svolte nei centri benessere. Qui infatti le condizioni climatiche relative a temperatura ed umidità richieste sono tali che non è facile utilizzare materiali naturali (soprattutto per l'elevato deficit di conoscenza delle tecniche tradizionali utilizzate nelle terme o negli hammam, come il cocciopesto o il tadelakt) con sufficiente efficacia e garanzia di durabilità, mentre è possibile applicare tutta la tecnologia e i dispositivi per ridurre, produrre e recuperare energia (sistemi ad irraggiamento, energia solare termica e FV, ricambi con recupero di calore).

Le seconde, per quanto non ordinarie destinazioni residenziali, richiedono sistemi di produzione e controllo del microclima interno facilmente realizzabili con materiali e tecniche bioecologici, e soprattutto con legno e suoi derivati sfruttando al meglio le caratteristiche fisico meccaniche delle componenti strutturali, architettoniche e di finitura.

In tutti gli ambienti destinati ad attività fisiche, ristorazione ad altre attività caratterizzate, inoltre, dalla compresenza di molte persone si ha un discreto dispendio di energia necessaria

non solo per abbattere l'aumento della temperatura (in estate) e dell'umidità ma per soddisfare i ricambi d'aria previsti dalla normativa. Pertanto è necessario, utilizzando un impianto di condizionamento ad irraggiamento (evitando cioè di utilizzare un impianto ad aria primaria), un doppio impianto: quello termico e quello aerulico. Per abbattere i consumi di energia primaria, sono stati utilizzati diversi sistemi passivi (solari) per i ricambi d'aria associati a ventilatori di beckup.

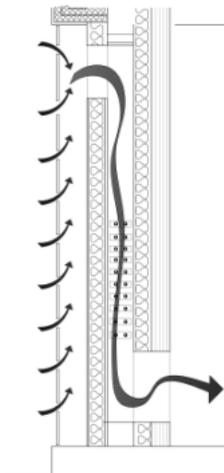


Figura 4.8: Sistema di ventilazione.

Altro aspetto molto importante, opportunamente normato per le strutture in questione, è l'isolamento acustico. In merito le soluzioni tecniche specifiche a livello strutturale sono diventate di ordinaria prassi nel montaggio delle varie componenti strutturali. Allo stesso modo, tutti i materiali isolati termici in fibra vegetale (es. sughero, fibra di legno, canapa, ecc.) sono degli ottimi isolanti acustici, e i pacchetti previsti sono composti prevalentemente da pannelli in fibra di legno e materassini in fibra di canapa, entrambi, inoltre indicati anche per ambienti con umidità interessante, per l'elevata capacità di assorbimento e traspirabilità dei due materiali, il che permette di ridurre la conduzione termo acustica senza compromettere il passaggio d'aria e soprattutto l'umidità in essa contenuta.

centro in una piastra in acciaio da 20mm di spessore a dodici raggi, progettata e prodotta specificatamente per il caso in esame. Il fissaggio di ciascuna porzione dell'arco avverrà tramite 20 spinotti $\varnothing 12 \times 200$ e 4 bulloni $\varnothing 12 \times 200$ con rondelle $13 \times 37 \times 3$.

Il resto dell'edificio è invece costituito da una struttura a pannelli portanti a strati incrociati a 5 strati di 10cm di spessore, compresi il vano scale ed il vano ascensore. Con lo scopo di portare esclusivamente i carichi verticali, sono presenti dei pilastri in legno lamellare distribuiti lungo il perimetro esterno del corpo principale e all'interno della sala ristorante. Per la zona 2 dell'edificio si prevede di realizzare una copertura piana con struttura a pannelli nervati, rendendo collaborante, tramite l'inserimento di viti auto foranti, un pannello a strati incrociati di 12cm di spessore con le sottostanti travi rompitratta in lamellare di abete di classe GL24h di sezione 24×52 cm disposte a interasse di 2,7m, in modo da seguire la scansione dei pilastri di facciata. Per riuscire a contenere le sezioni delle travi sono state sfruttate le pareti interne dell'edificio in modo da ottenere uno schema statico di trave su tre appoggi, e ridurre quindi le deformazioni degli elementi. Anche per il solaio interpiano della zona 3 è stata adottata la soluzione strutturale del solaio nervato, con travi in lamellare 24×48 cm ad interasse di 1,5m. L'appendice che accoglie il ristorante, zona 4, ha luci interne decisamente più importanti delle zone viste in precedenza, fino a 17m; per questo si rende necessaria l'introduzione di tre pilastri 24×24 cm, anch'essi in lamellare di abete di classe GL24h, che forniscono un appoggio intermedio per altrettante travi rompitratta 24×80 cm della copertura, che supportano un pannello 5 strati da 16cm di spessore.

La copertura curva della zona 3 sarà realizzata da travi centinate 24×76 cm poste ad interasse di 2,7m e sormontate da un'orditura secondaria costituita da travetti 8×12 cm ad interasse 80cm.

166

I pilastri saranno collegati alla fondazione tramite opportuni portapilastri in acciaio che avranno anche la funzione di sollevare l'elemento ligneo da terra e garantirne quindi la durabilità nel tempo.

Per quanto riguarda invece i pannelli parete a strati incrociati, essi saranno rialzati da un cordolo di larice da 12cm di altezza in modo da assicurare che il pannello non si imponga sotto il livello del pavimento finito. I collegamenti alla fondazione del cordolo di larice e del pannello a strati incrociati saranno quelli standard illustrati nei capitoli precedenti.

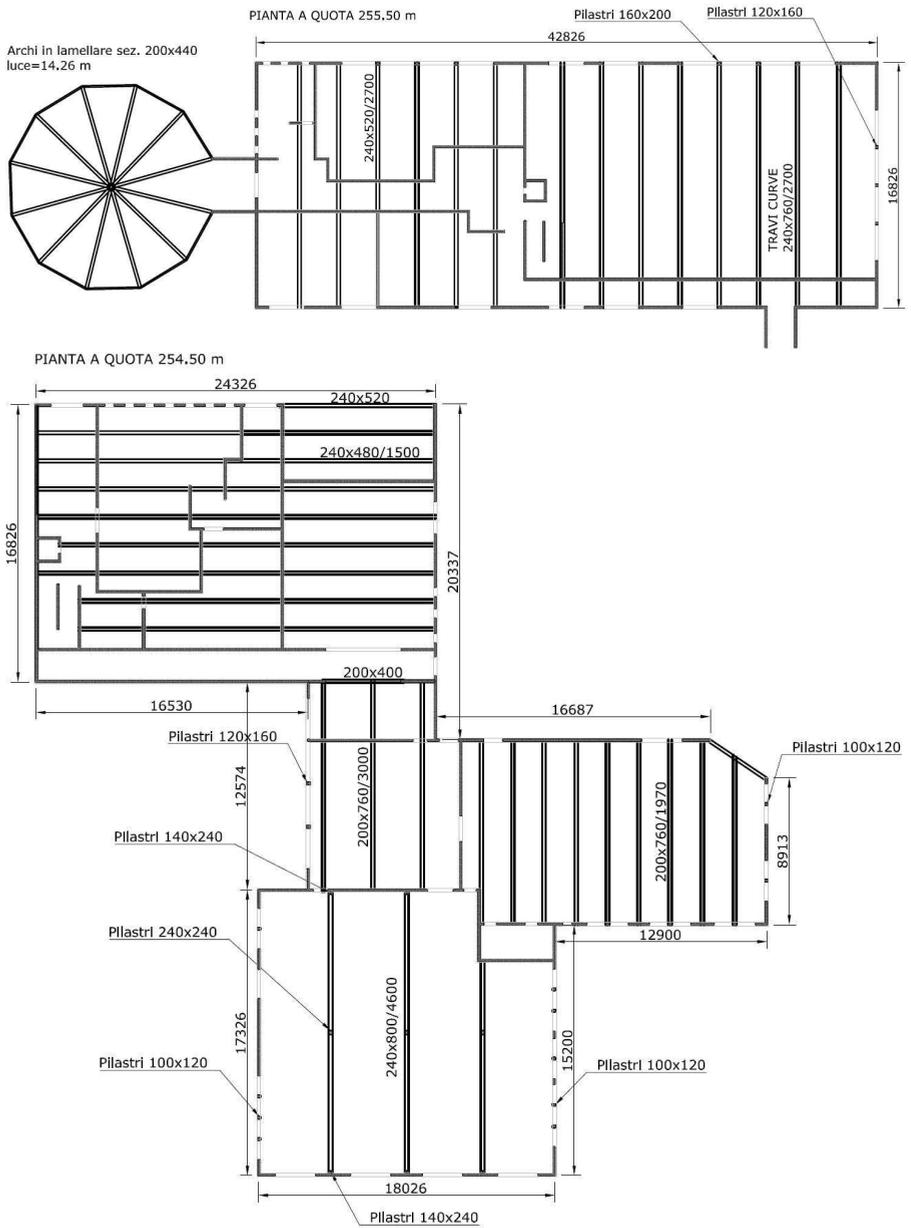
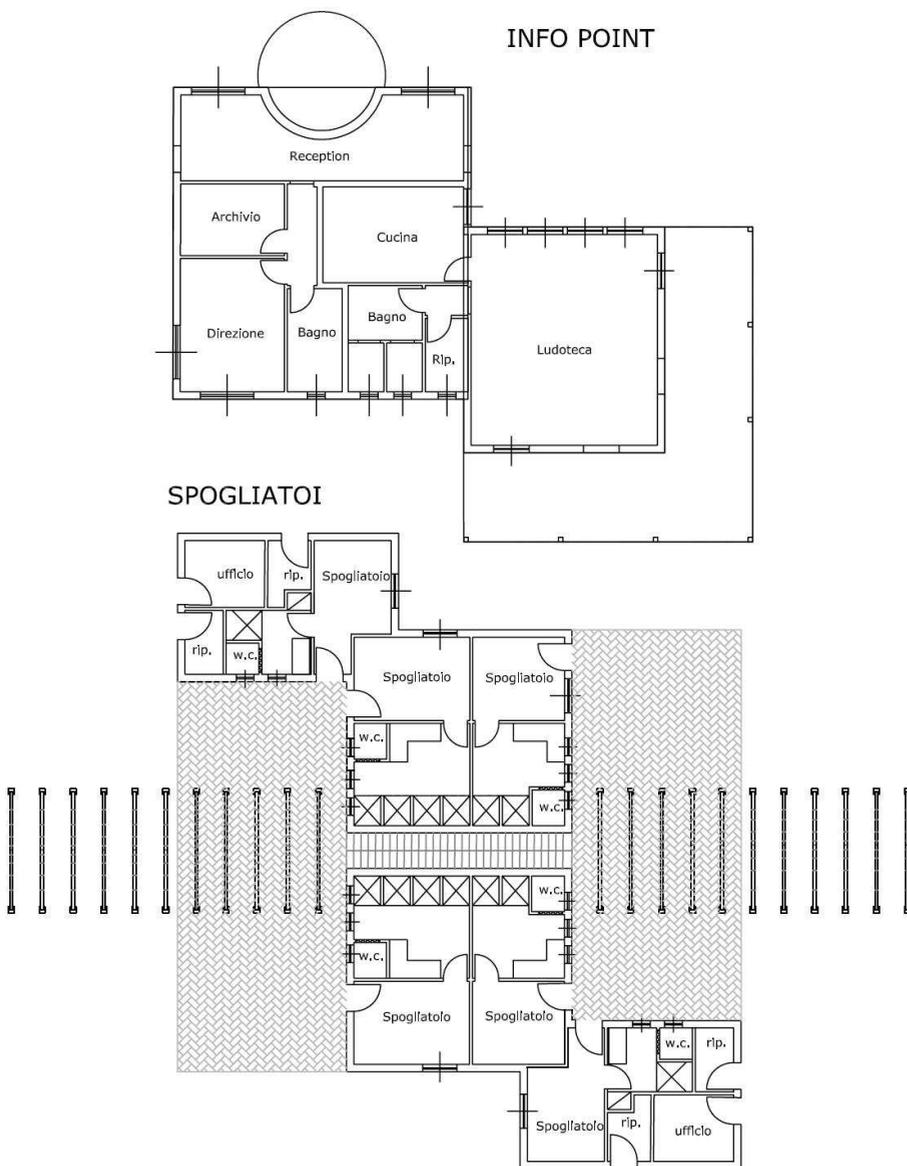


Figura 4.10: Pianta strutturali per la struttura balneare.

Spogliatoi ed Info Point:



168

Figura 4.11: Pianta architettoniche degli spogliatoi e dell'info-point.

Come accennato in precedenza, la configurazione planimetrica compatta degli edifici monopiano destinati a spogliatoi ed info point si presta bene all'adozione del sistema costruttivo Platform Frame. In entrambi i casi dunque si ha una struttura a pareti portanti

intelaiate, formate da elementi verticali in legno massiccio di classe C24 secondo la EN 338 di sezione 6x12cm posti ad un interasse medio di circa 60 cm, da correnti inferiori e superiori della stessa sezione dei montanti della parete e da pannelli di rivestimento strutturale, posti sul lato esterno, in OSB tipo 3 secondo la EN300 dello spessore di 12,5 mm. Il pannello di OSB è collegato all'intelaiatura con chiodi ad aderenza migliorata 3.1x60 ad interasse massimo di 150 mm sui bordi dei pannelli e 300 mm sui supporti interni. Le pareti vengono poi collegate fra loro da un ulteriore corrente superiore, che svolge la funzione di cordolo di collegamento. L'ancoraggio alla fondazione avviene tramite tirafondi in acciaio inseriti nel cordolo in c.a come collegamento di presidio allo scorrimento e con piastre angolari allungate dette hold-down poste alle estremità delle pareti e in corrispondenza delle aperture come presidio al sollevamento. Le pareti sono completate dal posizionamento di uno strato isolante nell'intercapedine interna creata dai montanti e da perline in abete per il rivestimento interno. Il lato esterno presenta un rivestimento in doghe di larice. Entrambi gli edifici presentano una copertura piana che viene realizzata con travi in legno lamellare di abete di classe GL24h secondo UNI EN 1194, irrigidite da un pannello di OSB collegato con chiodi alle travi principali; in questo modo si realizza il piano rigido che consente una corretta redistribuzione delle azioni orizzontali tra le pareti portanti. Il pacchetto è poi completato dall'isolamento, da una camera di ventilazione mentre il manto di copertura è realizzato con una doppia guaina ardesiata.

CASO 2: AMPLIAMENTO E SOPRAELEVAZIONE DELLA PISCINA COMUNALE DI PONTASSIEVE

Il progetto esaminato consiste nell'intervento di ampliamento e adeguamento della palazzina servizio della piscina coperta di Pontassieve, in via di Rosano. Si tratta di un progetto definitivo elaborato dai tecnici dell'amministrazione comunale.

Due le principali motivazioni alla base dell'intervento: da un lato dare una risposta alle attuali esigenze degli utenti; dall'altro adeguarsi alle normative vigenti in materia di impianti natatori per quanto riguarda sia le dimensioni degli spazi di servizio rispetto al numero dei fruitori, sia la possibilità di utilizzo delle vasche da parte di utenti diversamente abili.

Per la comprensione delle problematiche connesse a questo tipo di intervento, procederemo alla definizione dei passi preliminari necessari alla valutazione della sicurezza dell'edificio esistente.

LA PROPOSTA PROGETTUALE DELL'AMMINISTRAZIONE COMUNALE

L'intervento prevede l'ampliamento, giuntato sismicamente, del corpo di fabbrica al piano terra mediante due nuove aree disposte lateralmente rispetto alla palazzina servizi, di forma rettangolare con dimensioni in pianta di circa 4.62x14.35 metri.

Sopra l'attuale palazzina è prevista la realizzazione di un ambiente di ristoro e di una terrazza con zona relax raggiungibili sia con le scale che con l'ascensore, garantendo così l'accessibilità per gli utenti diversamente abili.

170

Dal punto di vista della classificazione dell'intervento, si tratta di una *sopraelevazione e ampliamento (giuntato) di edificio esistente*.

È prevista inoltre la riorganizzazione degli ambienti interni e l'adeguamento degli impianti in un'ottica di ottimizzazione gestionale e risparmio energetico.

Deve essere analizzato il rapporto tra il vecchio edificio e le nuove realizzazioni: nel caso dell'ampliamento si può considerare la nuova struttura indipendente e quindi non interagente con l'edificio esistente; diverso è il caso della sopraelevazione per la quale è necessario analizzare la capacità dell'immobile di supportare i vecchi e i nuovi carichi.

Ovviamente tanto maggiori saranno i carichi aggiunti, tanto più pesanti e quindi costose risulteranno le lavorazioni necessarie alla realizzazione dell'intervento. Il vantaggio dell'utilizzo di una struttura in legno sta proprio nella possibilità di ridurre al massimo l'incremento del carico sull'edificio esistente e quindi anche l'entità degli interventi necessari.

Coerenza dell'intervento con l'edificio esistente

Il progetto del nuovo intervento dovrà basarsi su un rilievo geometrico strutturale dell'esistente sufficientemente accurato per poter inserire gli elementi strutturalmente rilevanti (aperture su solai, vani scala, ascensori, ecc.) in modo da limitare le interferenze con le strutture esistenti. In generale, quando si prevedono modifiche della distribuzione degli spazi interni o la realizzazione di nuovi vani in sopraelevazione, è evidente che le decisioni circa l'organizzazione degli ambienti devono tener conto della compatibilità geometrico strutturale dell'edificio esistente.

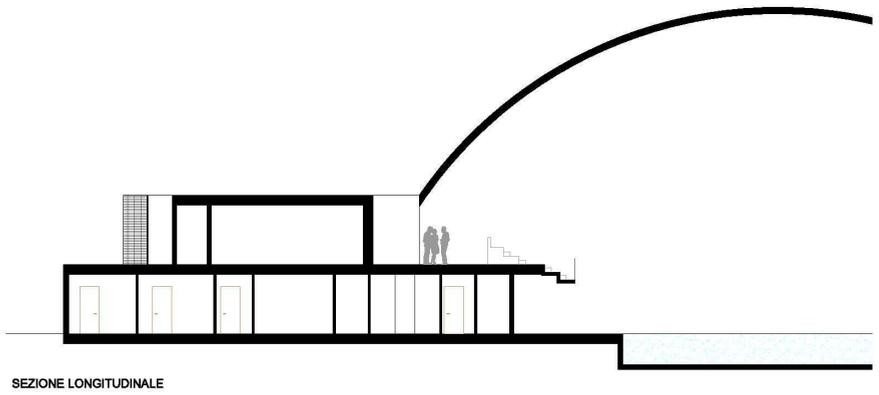
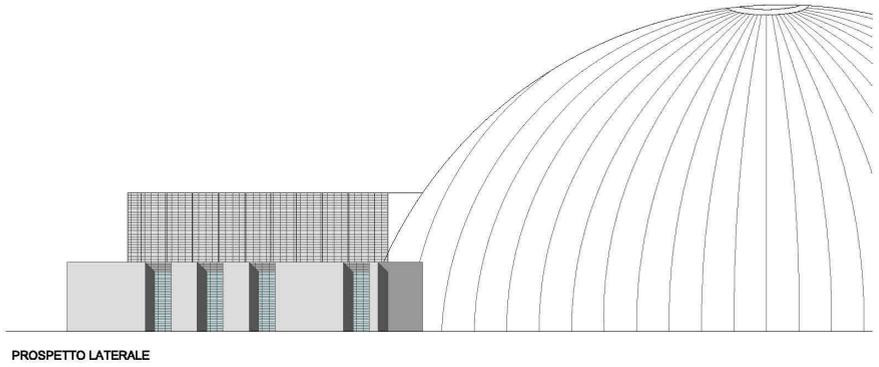
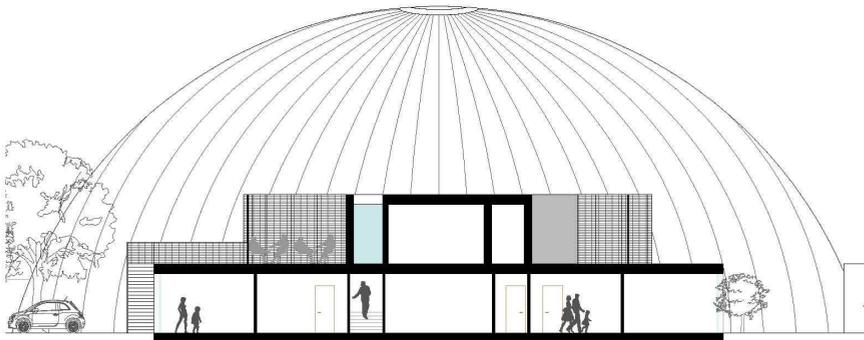


Figura 4.12: Progetto: prospetto e sezione.



PROSPETTO FRONTALE



SEZIONE LATERALE

172

Figura 4.13: Progetto: prospetto e sezione.

APPROCCIO METODOLOGICO

Prevedere il mantenimento e la fruizione di un edificio, modificando la distribuzione degli spazi e l'utilizzo, comporta, oltre alla progettazione architettonica e strutturale dei nuovi volumi, la necessità di una valutazione della sicurezza dell'edificio esistente.

Per poter condurre le necessarie verifiche e calibrare gli eventuali interventi di rinforzo occorre eseguire sull'edificio in esame una serie di operazioni volte alla piena conoscenza sia della geometria sia degli elementi strutturali.

Tali operazioni devono seguire una metodologia consolidata onde evitare di incorrere in errori di valutazione che, in seguito, possono portare a delle considerazioni in tutto o in parte distanti dal comportamento reale.

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DELL'EDIFICIO ESISTENTE

- **Analisi storico critica e ricerca dati:** consiste nell'attività di ricerca di tutta la documentazione progettuale inerente l'edificio per ottenere una corretta e quanto più accurata descrizione dello stato attuale.
- **Rilievo geometrico-strutturale e dettagli costruttivi:** l'attività di ricerca viene implementata con l'esecuzione di un rilievo e la verifica della conformità tra i dati riscontrati e il rilievo effettuato, in questa fase vengono analizzati anche eventuali fenomeni fessurativi riscontrati e raffrontato quanto riscontrato dall'attività di rilievo con la precedente fase di ricerca.
- **Determinazione delle proprietà dei materiali:** effettuata sulla base della documentazione originaria riscontrata.
- **Individuazione di un primo livello di conoscenza:** dall'attività di sintesi delle fasi precedenti si determina il livello di conoscenza iniziale su cui verranno effettuati ulteriori approfondimenti, è il livello di conoscenza determinato sulla base delle informazioni disponibili e risulta necessario alla definizione delle indagini e prove da effettuare.
- **Programma di verifiche in situ e di indagini sperimentali sulle strutture e sui terreni:** il numero e la tipologia di indagini viene definito da quanto riscontrato nelle fasi precedenti a dal livello di conoscenza da conseguire.
- **Relazione sulle indagini:** consiste nell'interpretazione dei risultati delle prove sperimentali definendo i parametri necessari alle successive verifiche.
- **Aggiornamento del livello di conoscenza e del relativo fattore di confidenza:** sulla base dei risultati delle prove viene aggiornato il livello di conoscenza e determinato il fattore di confidenza assegnato dalla normativa vigente, fattore che serve in sintesi al duplice scopo di definire le resistenze dei materiali e definire le sollecitazioni trasmesse.
- **Valutazione della sicurezza dell'edificio esistente:** sulla base dei passi precedenti si procede all'analisi dell'edificio esistente nella situazione pre-intervento.

173

Effettuato il processo di valutazione del livello di sicurezza, il passo successivo è la FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI ALLA BASE DELLE IPOTESI PROGETTUALI

In questa fase vengono definiti gli interventi da effettuare sull'edificio esistente (interventi locali, miglioramento o adeguamento) in funzione di quanto emerso dalla valutazione della sicurezza dell'edificio stesso e da quanto necessario per poter intervenire con il nuovo progetto (variazione dei carichi, nuovi volumi, ampliamenti, sopraelevazione, ecc.).

ANALISI STORICO-CRITICA

Il fabbricato esistente, la cui data di inizio lavori risulta 07/07/1976, è costituito da una piscina interrata in c.a. con copertura a "binishells" in c.a. e locali di servizio annessi con struttura intelaiata in c.a. e solai in latero-cemento.

La struttura è costituita da un unico corpo di fabbrica isolato rispetto al contesto urbano circostante.

Per l'analisi storico-critica dello stato attuale è stato fatto riferimento a tutti gli elaborati riscontrati: progetto architettonico, progetto strutturale, varianti, certificati di prova dei

materiali effettuati in corso d'opera, relazioni specialistiche, normative di riferimento del progetto originario, ecc..

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 4.14: Vista facciata lato ingresso principale



Figura 4.15: Vista dettaglio ingresso principale



Figura 4.16: Vista dettaglio ingresso su tribune al piano primo

DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE

La costruzione esistente può essere distinta in due volumi di forma e dimensioni differenti uniti strutturalmente tra loro:

- il volume A costituito da una cupola emisferica al cui interno si trovano due piscine interrate e una parte dei locali di servizio (spogliatoi, locali tecnici etc.);
- il volume B costituito da un fabbricato a pianta rettangolare, a due piani fuori terra, su cui si trovano: al piano primo l'accesso alle tribune e al piano terra la restante parte dei locali di servizio e l'ingresso alla struttura.

175

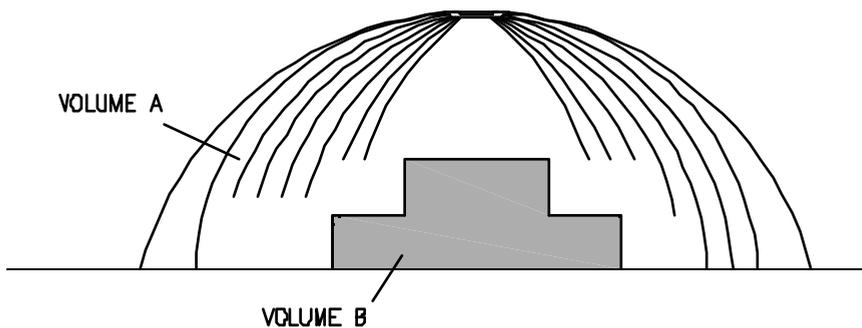


Figura 4.17: Schema prospettico del fabbricato.

Volume A

È costituito da una cupola emisferica in cemento armato del diametro di 36 metri: all'interno sono inserite due piscine interrate e una struttura intelaiata che costituisce lo scheletro dei locali di servizio e delle tribune.

La cupola monolitica è stata realizzata con la tecnica di costruzione cosiddetta *Binishell* (dal nome dell'inventore, l'Arch. Dante Bini, 1960) che prevede l'utilizzo di casseforme

pneumatiche. La cupola, di spessore 25 cm, ha un oculo centrale del diametro di 3 metri e tre grandi aperture alla base. La più grande di queste si trova in corrispondenza dell'innesto con il volume B, le altre due si trovano rispettivamente in posizione laterale e in posizione opposta alla prima e consentono l'accesso diretto dall'esterno alla zona alle piscine.

Gli ingressi diretti, dall'esterno alle piscine, sono costituiti ai lati da pareti in cemento armato, di spessore 25 cm, su cui poggia un solaio in latero-cemento, che funge da copertura, di altezza 24 cm. Al centro dell'ingresso laterale sono presenti inoltre due pilastri di dimensioni 25x45cm.

Gli spogliatoi posti a piano terra, in corrispondenza dell'apertura più grande alla base della cupola, sono realizzati con struttura portante costituita da un telaio monopiano in cemento armato con solaio in latero-cemento di altezza 24 cm. Il telaio è costituito da pilastri di dimensioni 25x45 cm, pareti di spessore 15 cm e travi ricalate 25x94 cm, e collegato tramite i setti laterali, di spessore 15 cm, alla struttura emisferica.

Le tribune a gradoni, inserite sopra gli spogliatoi, sono costituite da una soletta parzialmente a sbalzo, posta all'estremità del solaio di copertura degli spogliatoi.

Le fondazioni della struttura sono disposte ad una quota di circa 1,40 m dal piano di campagna e sono costituite da travi continue a sezione cuneiforme o a T rovescia.

Volume B

È realizzato con struttura portante costituita da un telaio in cemento armato (che è il proseguimento del volume A) a pianta rettangolare con due piani fuori terra.

Il telaio è costituito da pilastri di dimensioni 25x45 cm e 25x100 cm, e da travi sia ricalate 25x94 cm, sia in spessore di solaio H:24 cm, di larghezza variabile. Il solaio del piano primo, che in parte funge da copertura per i locali al piano terra, è in latero-cemento di altezza 24 cm. Il solaio di copertura del piano primo in latero-cemento, di altezza 24cm poggia su travi a spessore in c.a. Una scala interna in cemento armato collega i due piani. Le fondazioni della struttura analogamente al volume A sono disposte ad una quota di circa 1,40 m dal piano di campagna e costituite da plinti e travi continue a sezione cuneiforme o a T rovescia.

176

L'analisi sullo stato dell'edificio è proseguita con l'approfondimento della documentazione inerente le caratteristiche geologiche del terreno di fondazione e dei materiali utilizzati in particolare attraverso l'attenta valutazione dei certificati relativi alle prove effettuate sul calcestruzzo posto in opera.

CONSIDERAZIONI INERENTI LA REGOLARITÀ DELL'EDIFICIO

La valutazione della regolarità della costruzione fornisce informazioni preliminari importanti e permette di evidenziare eventuali carenze globali sia strutturali che geometriche.

Configurazione in pianta

Gli elementi strutturali che costituiscono la zona adibita a servizi presentano una disposizione planimetrica sostanzialmente simmetrica in una direzione. Non essendoci la doppia simmetria, la presenza del volume A genera irregolarità in pianta che influenzerà il comportamento strutturale dell'edificio.

Rapporto tra i lati

La configurazione in pianta della zona adibita a servizi (volume B) è di circa 16,50mx17m pertanto il rapporto tra i lati del rettangolo in cui la pianta del volume B è iscritto è minore di 4.

D'altra parte non è a priori quantificabile il livello di interazione del volume A (cupola in cemento armato) sul volume B nei confronti degli effetti sulla risposta sismica dell'edificio.

Rientri e sporgenze

Viene valutata la regolarità in pianta dell'edificio considerando la presenza di eventuali rientri e sporgenze, in particolare valutando che nessuna dimensione di eventuali rientri e sporgenze superi il 25% della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione.

Solai rigidi

In generale al di là di verificare lo stato di conservazione e l'adeguatezza dei singoli elementi strutturali che compongono i solai in laterocemento (travetti, pignatte, ecc), questi ultimi si possono considerare infinitamente rigidi con adeguate condizioni di stabilità sia nel piano che fuori dal piano. Nel caso in esame il piano di copertura è costituito da un solaio in laterocemento dello spessore di 20+4 cm di soletta armata con ferri di ripartizione, ovvero con spessore commisurate alle dimensioni minime previste dalla normativa vigente all'epoca della costruzione. D'altra parte la necessità di modificare l'utilizzo del solaio di copertura comporta il dover valutare lo stato di sicurezza del piano di copertura sottoposto alle condizioni di esercizio e controllarne il grado di stabilità. Si renderanno pertanto necessarie prove di carico localizzate su alcune specchiature del solaio.

Presenza di elementi non strutturali con influenza sulla risposta strutturale

La presenza di tamponature di una certa consistenza disposte in modo eccentrico o inserite all'interno del telaio in modo non corretto possono influire in modo negativo sulla risposta sismica dell'edificio. Si rende quindi opportuna una valutazione accurata mediante rilievo e saggi anche per gli elementi considerati non strutturali.

Dal rilievo effettuato risultano evidenti nell'edificio in oggetto le presenze di pareti di tamponamento all'interno dei telai in cemento armato.

Particolare attenzione deve essere dedicata anche alle interferenze tra telaio e tamponatura esterna dove il pannello murario costituisce il sottofinestra delle aperture a nastro diffuse lungo il fabbricato; nel caso specifico si può comunque ritenere limitate le aperture presenti.

Sulla base di tutte queste valutazioni possono essere definite se nelle successive fasi di verifica è trascurabile l'interazione delle parti in muratura con la struttura in cemento armato. Nel caso in esame risulta che sono trascurabili le interferenze degli elementi di tamponamento sulla risposta strutturale dell'edificio.

CONSIDERAZIONI SULLO STATO DI CONSERVAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Un'ulteriore valutazione che deve essere riportata nel rilievo geometrico strutturale riguarda le indicazioni di carattere qualitativo sullo stato di conservazione generale degli elementi strutturali, evidenziando quelli effetti facilmente riscontrabili dall'esame visivo dell'edificio (vedi fig. 4.7). Questo permette di avere indicazioni sulle specifiche indagini da effettuare.



Figura 4.18: Vista dettaglio trave copertura uscita al terrazzo di piano primo

RILIEVO GEOMETRICO-STRUTTURALE E DETTAGLI COSTRUTTIVI DELLE STRUTTURE

Il rilievo geometrico-strutturale evidenzia i dettagli costruttivi utilizzati che vengono riportati in specifici elaborati grafici; si procede poi al confronto di questi ultimi con gli elaborati progettuali.

In estrema sintesi il fabbricato ha una struttura portante costituita da un **sistema intelaiato di travi e pilastri gettati in opera** poggianti su **plinti e travi rovesce di fondazione**, collegati ad una **cupola gettata in opera** poggiante su **fondazioni continue**.

Il **solai** sono in laterocemento a travetti in c.a.

Il rilievo geometrico e strutturale ha confermato le dimensioni dell'edificio riscontrate negli elaborati progettuali.

Il tutto è rappresentato graficamente mediante degli elaborati grafici e degli abachi di sintesi.

178

LIVELLO DI CONOSCENZA INIZIALE

Le informazioni fino a qui disponibili per la valutazione del livello di conoscenza della struttura sono:

Geometria e carpenterie: da disegni originali e rilievo visivo a campione

Dettagli strutturali: disegni esecutivi completi (senza verifiche in situ)

Proprietà dei materiali: certificati di prova originali e specifiche di progetto (senza prove in situ)

Con queste informazioni non è possibile, in assenza di **verifiche** e **prove in situ**, assegnare un qualsiasi livello di conoscenza alla struttura.

Dovranno pertanto essere integrate con una campagna di indagini commisurata al livello di conoscenza desiderato.

INDAGINI E PROVE SPERIMENTALI

La definizione del livello di conoscenza avviene in funzione della qualità e completezza delle informazioni che è possibile acquisire e risulta fondamentale per definire la resistenza dei materiali e le sollecitazioni trasmesse agli elementi.

In specifico l'obiettivo le indagini sono finalizzate alla valutazione dei seguenti aspetti:

- caratteristiche del calcestruzzo di tutto l'edificio;
- caratteristiche meccaniche dell'acciaio da cemento armato utilizzato;
- caratteristiche geometrico-strutturali;

- rilevamento della capacità portante dei solai;
- indagini geognostiche.

Per quanto riguarda il caso di studio, considerato anche l'adeguata documentazione originaria, è lecito procedere con l'ottenimento del massimo livello di conoscenza **LC3**.

Indagini sul calcestruzzo

Le indagini, da eseguire in conformità delle Istruzioni Tecniche della Regione Toscana redatte dallo stesso Servizio Sismico, prevedono l'esecuzione di prove distruttive (esecuzione di carote) e non (prove sclerometriche ed ultrasoniche) sui pilastri e sulle travi in cemento armato.

Numero di indagini e livello di conoscenza lato materiali

Avendo a disposizione i certificati di prova originali e le specifiche originali di progetto e volendo ottimizzare il più possibile l'intervento di rinforzo mediante il raggiungimento del **LC3**, si è ritenuto conveniente proporre un'esauritiva campagna di indagine effettuando verifiche in situ.

Il prelievo delle carote e le indagini sclerometriche e ultrasoniche (metodo Sonreb) sono state definite con tipologie e numero tali da superare ampiamente le richieste delle "estese prove in situ" previste dalla normativa.

Per quanto riguarda l'acciaio la struttura ne utilizza due diversi tipi: uno relativo all'armatura delle fondazioni e dei pilastri (FeB32K) e l'altro per l'armatura delle travi e dei solai (FeB44K). Data la difficoltà di effettuare il prelievo delle armature metalliche, legata anche alla necessità di ripristinare l'armatura rimossa, si prevedono solo due prelievi in corrispondenza delle travi di fondazione.

Questo non inficia la possibilità di raggiungere il livello di conoscenza massimo in quanto per quello che concerne l'acciaio da cemento armato è noto che:

- la dispersione dei dati risulta inferiore rispetto ai valori del calcestruzzo (valori molto più vicini al valore medio);
- le proprietà meccaniche degli acciai di progetto sono ben note ed ampiamente documentate dalla letteratura tecnica.

Pertanto per quanto riguarda i materiali si può affermare di poter raggiungere il massimo livello di conoscenza LC3.

Numero di saggi strutturali e livello di conoscenza lato rilievo geometrico-strutturale

Analogamente a quanto visto per i materiali, anche per quanto riguarda la determinazione del livello di conoscenza geometrico-strutturale è possibile prevedere una campagna di saggi tale da ottenere il raggiungimento del massimo livello di conoscenza LC3.

Di seguito si riporta l'elenco degli elementi strutturali indagati.

PIANO		PILASTRI			TRAVI		
		TOT.	INDAGATI	%	TOT.	INDAGATE	%
p.primo	P1	4	2	50,0	32	9	28,1
p.terra	PT	16	7	43,7			

Figura 4.19: Tabella riepilogativa elementi indagati

Questa tabella dimostra che con le indagini previste si supera ampiamente il 15% degli elementi strutturali principali in quanto per trave si è inteso l'elemento che va da nodo pilastro

a nodo pilastro e che per ognuna di esse si sono effettuati almeno due saggi, uno in mezzeria ed uno in corrispondenza dell'appoggio.

Il saggio si è spinto poi all'individuazione dell'armatura principale e delle staffe comunque disposta.

In pratica con i saggi previsti è possibile individuare completamente tipologia e disposizione dell'armatura negli elementi principali, pilastri o travi che siano.

A completamento delle indagini dovrà essere allegata una documentazione fotografica.

Pertanto anche per quanto riguarda i dettagli costruttivi e armature, si può affermare di aver raggiunto il massimo livello di conoscenza LC3.

Impalcati: prove di carico e saggi

Anche per i solai in latero-cemento sono previste di indagini sperimentali e di saggi strutturali. In particolare per ogni tipologia di solaio verranno eseguiti almeno due saggi strutturali sul travetto: uno all'intradosso in corrispondenza della sezione di mezzeria, l'altro all'estradosso in corrispondenza della sezione d'appoggio.

Tali saggi sono serviti ad individuare i seguenti parametri caratteristici del solaio:

- tipologia del solaio;
- altezza del travetto e dell'eventuale soletta in calcestruzzo;
- sezione e passo del travetto;
- armatura del travetto in corrispondenza della sezione di mezzeria;
- armatura del travetto in corrispondenza della sezione di appoggio.

Oltre a questi saggi sono previste 2 prove di carico, su due porzioni di solaio del piano primo.

Le prove di carico saranno effettuate con il metodo "a spinta" attraverso l'applicazione del carico con due martinetti posti ad $1/3$ della luce netta ed imponendo un carico P su ogni martinetto derivante dall'equivalenza dei momenti flettenti con lo schema di carico uniformemente distribuito considerando l'amplificazione derivante dal coefficiente di collaborazione laterale, calcolato considerando i trasduttori posto ortogonalmente alla striscia di solaio indagata.

Indagini geognostiche

Per la caratterizzazione dell'azione sismica è necessario provvedere alla classificazione del suolo in una delle categorie stratigrafiche di riferimento per la definizione dello spettro sismico.

La relazione geologica in possesso non è sufficiente a caratterizzare in tal senso i terreni di fondazione.

Pertanto si dovranno effettuare una coppia di indagini sismiche superficiali (sismica a rifrazione) secondo due allineamenti pressoché ortogonali tali da determinare la V_{s30} , ovvero la velocità delle onde di taglio mediata sugli strati fino alla profondità di 30m dal piano di campagna attraverso la quale procedere con la caratterizzazione del suolo sismico.

Report delle indagini

Le indagini vengono graficizzate in elaborati in grado di permettere una completa e veloce lettura dei luoghi esaminati, definendo una chiara simbologia per tutte le tipologie di prove effettuate. Gli elaborati saranno completati anche da report fotografici sui punti maggiormente significativi.

TIPOLOGIA INDAGINI	
	S = SCLEROMETRO SO = METODO SONREB
	C = CAROTA
	PRELIEVO FERRI LONGITUDINALI
	PROVE DI CARICO

Figura 4.20: Legenda delle tipologie di indagini

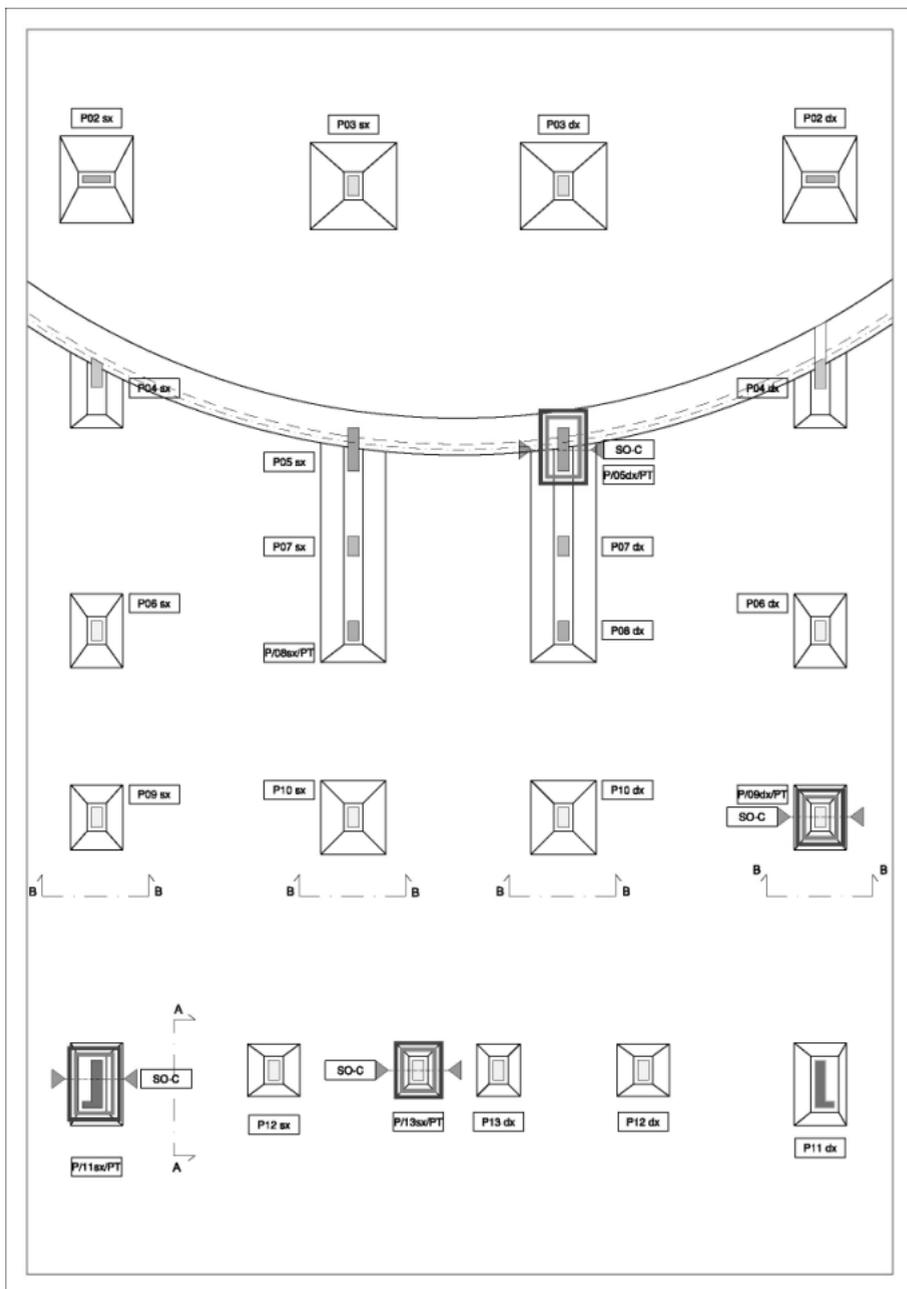


Figura 4.21: Schematizzazione grafica degli elementi indagati al piano terra

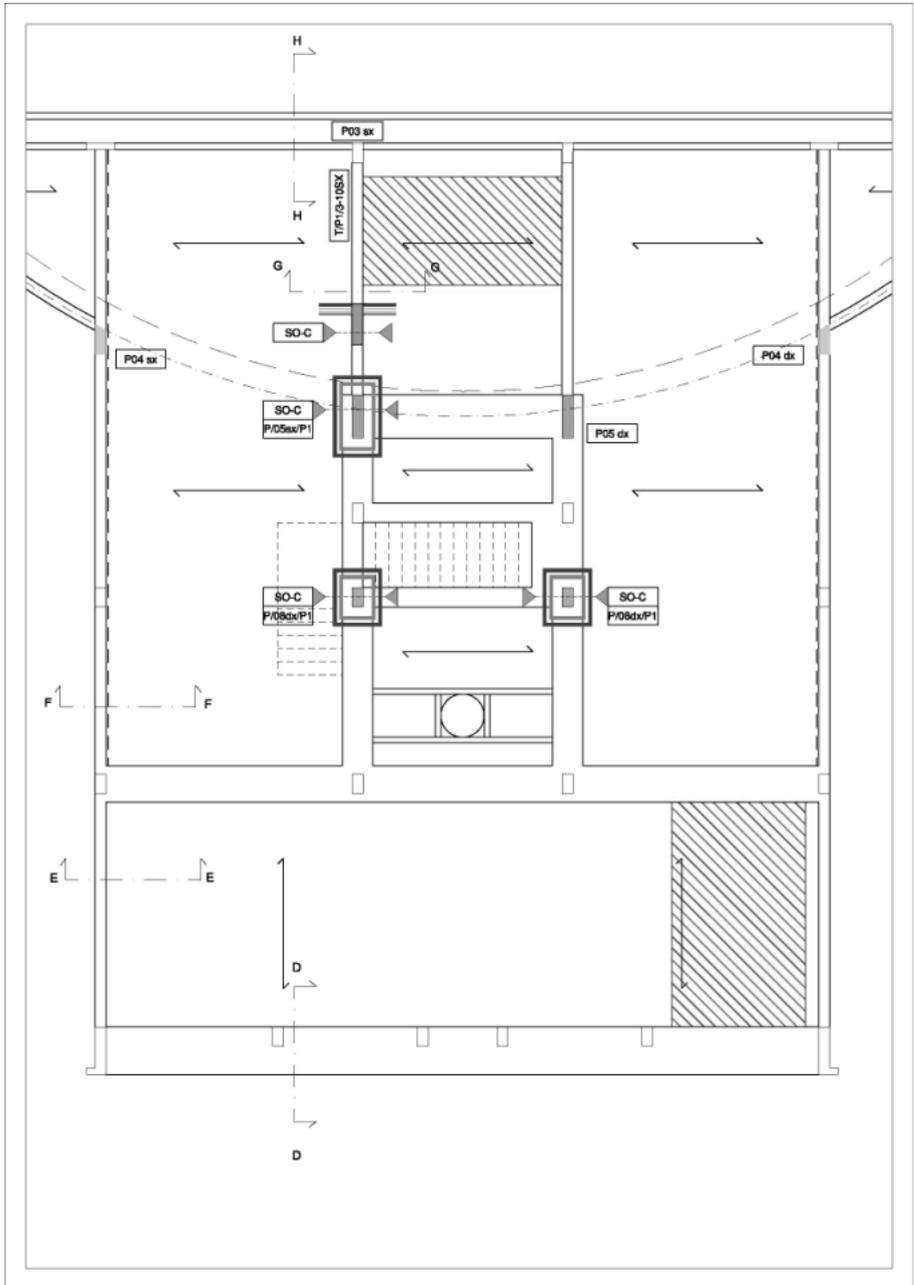


Figura 4.22: Schematizzazione grafica degli elementi indagati e prove di carico al piano primo

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ALLO STATO ATTUALE

Anche se la valutazione globale della sicurezza può essere omessa nel caso di interventi di tipo locale, nel caso in studio si procede comunque a questa analisi. Questa fase comprende quindi la determinazione del livello di sicurezza delle strutture alle azioni previste dall'attuale normativa tecnica (DM 14/01/2008).

Il livello di conoscenza raggiunto (LC3) e la tipologia strutturale (telaio in cemento armato) ci permette di utilizzare qualsiasi metodo di analisi (lineare, non lineare, statico, dinamico).

CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO AI SENSI DELLE NTC2008

Dal punto di vista strutturale l'intervento prevede la realizzazione di:

- due volumi a piano terra giuntati rispetto all'edificio esistente e posti alle estremità del locale spogliatoi; un vano ascensore che collega il piano terra con la terrazza, adeguatamente giuntato; un incremento volumetrico in terrazza avente le seguenti caratteristiche:
 - 10% del volume esistente alla stessa quota;
 - superficie in pianta inferiore al 30% di quella coperta alla medesima quota;
 - incremento dei carichi globali in fondazione < 8%;
 - altezza massima pari a 3,0m.

Per queste caratteristiche, in riferimento agli Orientamenti interpretativi della Regione Toscana, l'intervento ammissibile è quello di **miglioramento sismico**.

CRITERIO DI PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

La scelta dell'intervento di rinforzo scaturisce dalla precedente valutazione di sicurezza dell'edificio.

Viste le caratteristiche di scarsa invasività dell'intervento e la tipologia della struttura esistente, l'intervento proposto consisterà in:

- risanamento delle strutture in c.a. mediante rimozione del copriferro, successivo trattamento delle barre di acciaio e ricostruzione delle sezioni ammalorate mediante malte speciali;
- miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di alcuni pilastri ottenuta mediante fasciatura con dei nodi di base e di testa degli stessi.

CRITERI DI PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI AMPLIAMENTO E SOPRAELEVAZIONE A STRUTTURA DI LEGNO.

Il sistema costruttivo scelto per realizzare l'intervento di ampliamento e sopraelevazione è il sistema a pannelli portanti a strati incrociati o XLam.

Le parti con struttura a pannelli di legno a strati incrociati previste dall'intervento ipotizzato dall'amministrazione comunale sono gli ampliamenti laterali a piano terra e l'ampliamento frontale al piano primo. I primi accoglieranno l'allargamento dei locali spogliatoi maschile e femminile, mentre il secondo ospiterà un locale di accoglienza e ristoro per il pubblico e gli utenti della piscina. L'intervento in esame racchiude in sé diverse criticità a cui prestare particolare attenzione già nelle prime fasi di sviluppo della proposta progettuale:

- presenza di tipologie strutturali diverse allo stesso piano;
- posizione e quantità di pareti resistenti, rigidità del piano;
- irrigidimento delle nuove strutture in legno;
- corrispondenza fra strutture ai piani e ancoraggi;

Presenza di tipologie strutturali diverse allo stesso piano

Per prima cosa è necessario considerare che, a entrambi i piani si va ad accostare la struttura di legno a una struttura esistente in cemento armato. I due tipi di struttura sono in grado di resistere all'azione sismica, tuttavia le modalità con cui le stesse interagiscono qualora rigidamente connesse fra loro rimangono di difficile valutazione; è per questo motivo che le strutture a tipologia costruttiva diversa devono essere rese indipendenti, realizzando un giunto sismico per evitare il pericolo di martellamento tra le strutture in caso di terremoto. Come indicato dalla normativa tecnica per le costruzioni nonché dalla buona prassi costruttiva, l'ampiezza di tale sconnessione deve essere almeno pari alla somma degli spostamenti massimi orizzontali registrati in sommità delle due strutture adiacenti e calcolati allo Stato Limite di Danno; a tal proposito, in presenza di una struttura di legno, è necessario considerare opportunamente la deformabilità della stessa che è determinata principalmente dalle modalità di realizzazione dei giunti meccanici fra i vari elementi strutturali, ed è solitamente maggiore di una struttura in cemento armato.

185

Posizione e quantità delle pareti resistenti, rigidità del piano

Le tipologie strutturali in legno maggiormente diffuse in Italia sono il sistema Platform Frame e il sistema XLam, già descritte nel Capitolo 2. Entrambi i sistemi costruttivi, come già spiegato nello stesso capitolo, pur con le differenze sia costruttive che di comportamento strutturale dei singoli elementi che li compongono sono classificabili in generale per quanto riguarda il comportamento strutturale come sistemi costruttivi a pareti portanti.

Questa premessa ci permette di affermare che le considerazioni che faremo riguardanti la quantità e la posizione delle pareti hanno validità svincolata dalla scelta della tipologia strutturale fatta per la realizzazione dell'intervento sulla piscina comunale di Pontassieve e possono essere estese senza alcuna difficoltà all'altro sistema costruttivo.

Il comportamento strutturale del sistema XLam e, come detto prima, del sistema Platform Frame, ha quindi delle analogie con quello degli edifici in muratura. Anche nel caso di strutture di legno infatti si individuano dei maschi murari resistenti alle azioni orizzontali che, per soddisfare i criteri di regolarità in elevazione dati dalle Norme Tecniche, devono

proseguire con continuità dalla fondazione alla copertura, e che sono sollecitati dai carichi verticali e orizzontali. Come già spiegato nei criteri di progettazione descritti nel Capitolo 2, ai fini di un corretto comportamento globale della struttura ai carichi orizzontali, gli elementi verticali resistenti alle azioni orizzontali devono essere omogeneamente distribuiti in due direzioni principali, e devono essere collocati possibilmente lungo il perimetro dell'edificio. Il tutto poi funziona correttamente se è presente un adeguato collegamento alla sommità dei maschi resistenti, ovvero un collegamento tale da ripartire sui maschi resistenti in funzione delle rispettive rigidità l'azione orizzontale. In sintesi, anche nel caso di strutture realizzate in legno si deve innescare il comportamento scabulare, proprio come accade per le strutture in muratura.

Nella realtà spesso questo non accade, in particolare negli interventi di ampliamento, come succede infatti nel caso studio della piscina comunale di Pontassieve. Frequentemente capita che, dovendosi affiancare a una struttura esistente, la parete in adiacenza necessariamente debba essere realizzata totalmente aperta o comunque con aperture di ampiezza significativa per consentire il collegamento tra la parte esistente e quella di nuova edificazione. Tale problematica è ben evidenziata nello schema sottostante in cui sono indicate con il tratto grosso le strutture in legno degli ampliamenti laterali al piano terra degli spogliatoi.

186

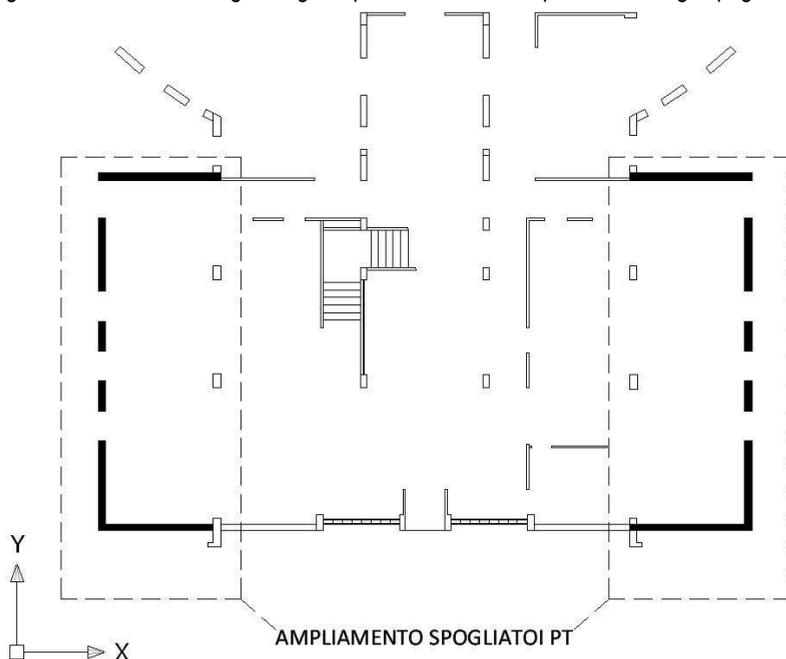


Figura 4.23: Pianta piano terra stato di progetto

Come si vede, i tamponamenti della parete che nello stato attuale risulta esterna, verranno totalmente abbattuti e rimarranno in piedi solo i pilastri strutturali. I maschi resistenti dell'ampliamento con struttura in XLam che si individuano con certezza sono quelli evidenziati, che come si nota hanno un distribuzione in pianta non omogenea; infatti considerando che ogni ampliamento dovrà essere realizzato come struttura a sé stante e indipendente, ne consegue che la distribuzione planimetrica delle pareti resistenti sarà a "C"

in cui un lato risulta completamente mancante. Questo comporta la presenza di una forte eccentricità fra il baricentro delle masse e quello delle rigidità con conseguente insorgenza di effetti torcenti quando la struttura viene sollecitata da azioni orizzontali. Per limitare gli effetti indotti dalla distribuzione non simmetrica delle pareti in pianta si può intervenire in due modi. Per prima cosa è possibile valutare se, in considerazione della nuova distribuzione interna degli spazi e della divisione in locali di servizio interni agli spogliatoi stessi, sia possibile individuare zone in cui inserire maschi resistenti, ovviamente senza stravolgere il progetto architettonico, anche sull'allineamento individuato dalla parete aperta di comunicazione. Questo potrà essere fatto a condizione che le nuove strutture rimangano comunque indipendenti dalle strutture esistenti.

Ad esempio una soluzione possibile potrebbe essere quella di posizionare dei setti in adiacenza (ma separati strutturalmente dal giunto) ai pilastri della struttura esistente; in questo modo si migliorerebbe il comportamento della struttura XLam, si ridurrebbe infatti l'eccentricità fra il baricentro delle masse e delle rigidità, senza provocare sostanziali variazioni distributive interne.

Qualora una soluzione del genere non risultasse in nessun modo accettabile dal punto di vista architettonico e non si trovasse una soluzione simile di compromesso, allora sarebbe da valutare l'ipotesi di realizzare un piano non rigido (ad esempio con l'adozione di un semplice tavolato di copertura) in modo che per azioni orizzontali parallele all'asse Y non si abbia l'insorgenza di effetti torcenti.

La realizzazione del piano rigido nel caso di omogenea distribuzione delle pareti lungo Y può essere garantita dall'utilizzo dei pannelli di legno a strati incrociati in copertura; in questo caso dovrà essere posta particolare cura nel dimensionamento e nel progetto dei giunti fra i pannelli stessi in modo da garantire l'ipotesi di diaframma rigido e fra i pannelli di copertura e le pareti verticali sottostanti, prevedendo per i mezzi di connessione puntuale come viti o chiodi interassi ridotti in modo da garantire l'adeguata resistenza e rigidità. Nel caso di strutture con coperture o solai tradizionali è invece buona norma non lasciare mai un singolo tavolato, non sufficiente a garantire la ripartizione del carico orizzontale, ma è sempre bene prevedere un irrigidimento del piano inserendo di un secondo tavolato disposto con la fibratura a 45° rispetto al primo, o un foglio di OSB; in entrambi i casi il collegamento fra i due livelli dovrà essere efficace e distribuito su tutta la superficie del piano.

Considerazioni strutturali relative all'intervento di sopraelevazione

L'intervento previsto sulla piscina di Pontassieve prevede la sopraelevazione parziale del piano terra con la realizzazione a livello dell'attuale terrazza di una zona ristoro e accoglienza fruibile dagli spettatori e dagli utenti della piscina. Questo comporta la realizzazione di un volume aggiuntivo al piano primo che va ad accostarsi al volume già presente di copertura del vano della scala di accesso interno alle gradinate che si affacciano sulle vasche; si tratta quindi di un intervento sia di ampliamento che di sopraelevazione. Rimanendo valide dunque tutte le indicazioni e le considerazioni fatte fino ad adesso per l'intervento al piano terra di semplice ampliamento degli spogliatoi, ci concentriamo in questa parte sulle problematiche che ci si trova ad affrontare nel caso in cui si debba realizzare una sopraelevazione.

Il primo aspetto da valutare è la corrispondenza fra le strutture verticali del piano sopraelevato e le strutture portanti esistenti del piano inferiore. La situazione ottimale è data dalla perfetta corrispondenza fra le due, cosa che non accade quasi mai in quanto

difficilmente nella progettazione della vecchia costruzione si è tenuto conto della possibilità futura di sopraelevazione con un nuovo volume e delle problematiche strutturali ad essa connesse. Si possono però individuare delle soluzioni comunque percorribili anche in assenza di tale condizione preliminare, così come è possibile elencare una serie di situazioni staticamente non accettabili.

La problematica principale in relazione alla trasmissione dei carichi verticali è dovuta al fatto che la non corrispondenza fra le strutture portanti verticali della parte sopraelevata e della struttura esistente sottostante, ossia la realizzazione di strutture verticali in falso su una trave o peggio ancora direttamente su un solaio, comporta la verifica nei confronti dei nuovi carichi delle strutture orizzontali sottostanti, delle quali spesso non si conoscono nemmeno le caratteristiche strutturali per carenza di informazioni sul progetto originario. Inoltre nella maggior parte dei casi esse non risultano in grado di portare le sollecitazioni trasmesse dalla nuova struttura, che non sono solo i carichi verticali statici ma anche le sollecitazioni verticali indotte dalle azioni sismiche.

Una soluzione attuabile nel caso di struttura a pannelli XLam, è quella di andare a sfruttare l'effetto di "trave parete" dei pannelli, realizzando un unico elemento rigido che bypassi l'appoggio mancante, qualora siano comunque presenti idonei appoggi almeno agli estremi della trave parete.

Per comprendere le problematiche legate al comportamento della struttura alle azioni orizzontali invece, è necessario considerare lo schema di funzionamento di una parete a struttura di legno soggetta a tale carico. Lo schema di riferimento è il seguente:

188

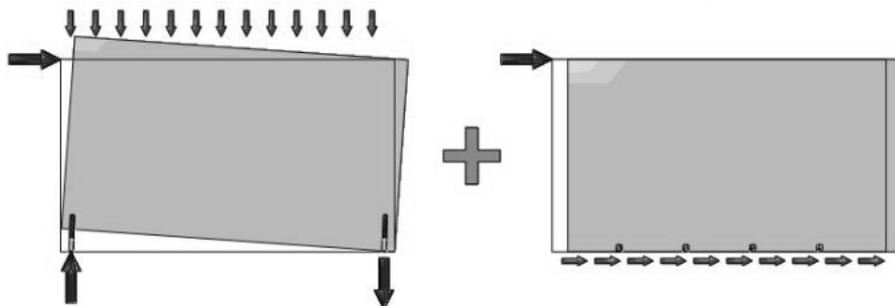


Figura 4.24: Azioni di sollevamento e scorcimento indotte dall'azione sismica agente nel piano della parete.

Come si nota nascono azioni distribuite alla base della parete e azioni concentrate alle estremità (o in corrispondenza delle aperture, si consideri il pannello di Figura 4.24 come un maschio murario). Queste sono dirette in entrambi i versi essendo l'azione sismica un'azione bidirezionale.

Per le azioni concentrate alle estremità occorre prevedere il collegamento del pannello alle strutture del solaio sottostante con dei collegamenti meccanici di presidio al sollevamento, realizzati con piastre metalliche angolari dette hold-down (si veda a proposito il §2.3) che sono poste sul lato della parete e vanno collegate alle strutture sottostanti con tirafondi in acciaio che sono ancorati con resina epossidica o cementizia. Per questo motivo è necessario che la parete trovi la corrispondenza o di una parete corrispondente al piano sottostante o comunque di una trave in c.a. dove ancorare i tirafondi di collegamento.



Figura 4.25: Piastre hold-down.

Oltre all'ancoraggio degli hold-down occorre comunque verificare le strutture verticali (pilastri, setti o pareti) o orizzontali (travi) sottostanti per il carico verticale di compressione trasmesso dal maschio murario alle estremità. Per questo motivo è opportuno che il maschio murario in legno o la parete trovi l'appoggio alle estremità di strutture verticali sottostanti o perlomeno di una trave in c.a. In quest'ultimo caso, ossia di appoggio "in falso" su una trave in c.a. all'estremità della parete, si pongono le problematiche dette in precedenza di conoscenza delle caratteristiche strutturali delle strutture esistenti.

Le azioni distribuite alla base della parete invece possono essere trasmesse alle strutture del solaio in quanto rappresentano azioni taglianti; queste devono essere prese dal solaio e ripartite alle strutture sottostanti.

Nell'effettuare la verifica delle connessioni che collegano la base delle pareti al solaio sottostante è necessario ricordare che gli elementi di collegamento al piano sottostante devono essere verificati per un taglio di competenza incrementato del 30%. Tale indicazione è contenuta nel paragrafo 7.8.4 del DM 14/01/2008, in realtà riferito alle strutture miste con pareti in muratura, ma è da considerare applicabile anche ai casi di sopraelevazione in legno su struttura sottostante realizzata con un diverso materiale e una diversa soluzione strutturale.

Per la verifica delle strutture sottostanti è quasi sempre necessaria una modellazione dinamica dell'intero complesso struttura esistente-sopraelevazione che preveda la corretta schematizzazione delle caratteristiche di rigidità e resistenza delle pareti in XLam e di tutti gli elementi meccanici di collegamento. Questo al fine sia di valutare correttamente le sollecitazioni indotte sulla struttura sottostante dall'azione sismica agente sulla struttura sopraelevata, sia al fine di una corretta valutazione della verifica di deformazione allo Stato Limite di Danno.

Nella verifica nei confronti delle azioni orizzontali occorre naturalmente considerare con attenzione l'azione del vento che, mentre per le strutture in c.a. esistenti è di scarsa rilevanza, per il caso delle strutture in legno, ed in particolar modo quelle monopiano, è spesso

maggiore dell'azione sismica. Questo risulta particolarmente vero per le sopraelevazioni, in quanto si tratta di strutture solitamente a un solo piano, poste a quote in cui facilmente l'azione del vento ha un'intensità maggiore rispetto a quella minima di riferimento. Ci si trova dunque in una condizione in cui si combinano la leggerezza della struttura, data sia dalla leggerezza propria del materiale da costruzione sia dal fatto che comunque si tratta generalmente di interventi di modeste dimensioni, con la maggiore intensità dell'azione del vento. Anche la determinazione dell'azione sismica di competenza risente dell'effetto "elevazione" e risulta amplificata rispetto alla stessa azione calcolata sulla stessa struttura posta al livello del terreno, tuttavia spesso i tagli indotti dalle due azioni hanno valori dello stesso ordine di grandezza e le strutture sono da valutare soggette a entrambe le tipologie di azioni orizzontali determinando per le diverse pareti quale sia di volta in volta la condizione di carico più gravosa.

Le soluzioni strutturali adottate

La soluzione progettuale adottata prevede la realizzazione come detto di una struttura in pannelli XLam sia per gli ampliamenti che per la sopraelevazione.

A livello di finiture architettoniche le pareti esterne saranno composte partendo dall'interno da un doppio pannello di fibrogesso, una intercapedine porta-impianti riempita con fibra di canapa, il pannello strutturale di legno, un cappotto isolante in fibra di legno e rasatura e intonachino come finitura. Le tamponature interne saranno invece realizzate in cartongesso.

190

Parete esterna intonacata

Materiale	Spessore (mm)	
A Pannelli di cartongesso + fissativo + idropittura	2x12,5	
B Intercapedine per impianti / Isolante in canapa	40	
C Barriera al vapore	-	
D Pannello multistrato strutturale	100	
E Pannello isolante in fibra di legno 150kg/mc	80	
F Rasatura + rete + torachino colorato	10	
Totale strutturale		100
Totale architettonico		255

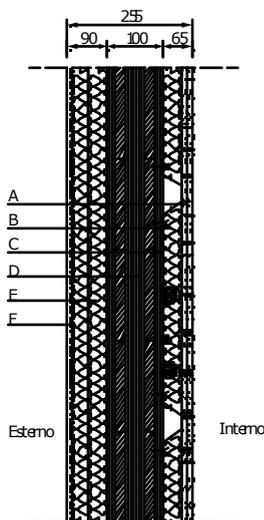


Figura 4.26: Pacchetto costruttivo per la parete esterna

La copertura degli ampliamenti sarà composta, partendo dal lato inferiore, da controsoffitto in cartongesso, pannello strutturale XLam, isolante in fibra di canapa, pannello OSB, isolante in fibra di legno, guaina poliolefinica e manto di copertura in quadrotti di calcestruzzo con scaglie di aggregati naturali. In quanto praticabile la copertura degli ampliamenti sarà sostanzialmente piana ma dotata comunque della pendenza minima che garantisca il corretto

deflusso delle acque meteoriche che in caso di ristagno o di infiltrazione causerebbero un degrado precoce e accelerato della struttura.

Pacchetto copertura

	Materiale	Spessore (mm)
1	Controsfittatura in cartongesso	12
2	Pannello multistrato strutturale	147
3	Barriera a diffusione igrovariabile	-
4	Isolamento in fibra di canapa (sp min - pend 3%)	50
5	Pannello OS B/3	15
6	Pannello in fibra di legno	120
7	Guaina poliolefinica	1,3
8	Piedini di supporto	15
9	Pavimento in quadrotti ds con scaglie di aggregati naturali	35

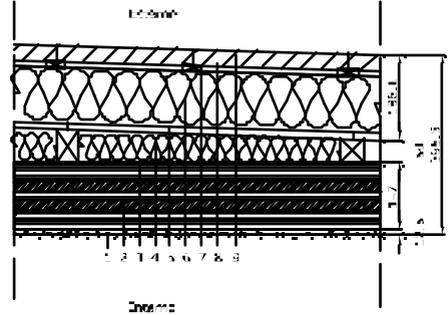


Figura 4.27: Pacchetto costruttivo per la copertura della zona di ampliamento

La copertura della sopraelevazione sarà invece composta, partendo dal lato inferiore, da pannello strutturale XLam, isolante in fibra di legno, guaina traspirante, intercapedine di ventilazione e manto di copertura in lamiera grecata. Gli infissi (sia finestre che porte) saranno di legno con vetrocamera termico.

La soluzione strutturale adottata per gli ampliamenti è quella che prevede l'accostamento di ulteriori pareti resistenti in direzione y e ai pilastri della parete esistente mantenendo comunque lo stacco necessario alla realizzazione del giunto sismico. La pianta di riferimento è la seguente:

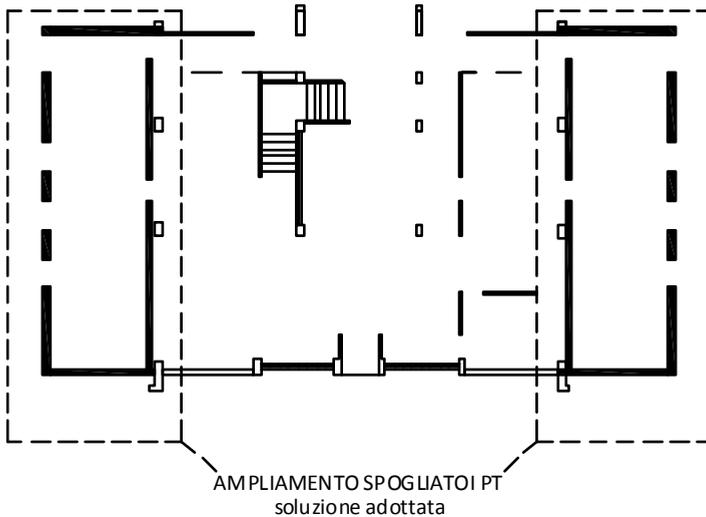


Figura 4.28: Soluzione strutturale adottata per gli ampliamenti. In nero le pareti XLam.

In questo modo è possibile realizzare in copertura il piano rigido ottimizzando e migliorando il comportamento strutturale dell'edificio riducendo gli effetti della coppia torcente data dalla non corrispondenza fra il baricentro delle masse e quello delle rigidezze. La fondazione della nuova parte sarà realizzata con un graticcio di travi a T rovescia; nel caso delle travi lunghe parallele all'asse Y, esse saranno collegate fra loro da cordoli.

Il solaio contro-terra sarà realizzato adottando una soluzione standard di solaio in laterocemento; un solaio in legno potrebbe infatti essere realizzato solo a fronte della costruzione di un vespaio ben areato e comunque distanziato opportunamente dal livello del piano di campagna. Come ulteriore accorgimento relativo alla durabilità della struttura, le pareti saranno distanziate dal piano di campagna dalla costruzione di un cordolo rialzato in cemento armato posto al di sopra dell'anima delle travi di fondazione e da un ulteriore dormiente in larice sovrapposto in modo da portare la quota di imposta del pannello in abete al di sopra del livello del pavimento finito. Le pareti saranno realizzate con struttura a pannelli portanti a strati incrociati a 5 strati di 100mm di spessore sormontati da una copertura anch'essa a pannelli, a 5 strati di 147mm di spessore, disposti con orditura principale parallela al lato corto dell'edificio. La scelta di realizzare la copertura con pannelli di legno XLam in questo caso è stata dettata anche da esigenze legate alla velocità di montaggio, nettamente superiore rispetto ad una copertura tradizionale a travi.

La pianta della soluzione adottata per l'intervento di sopraelevazione è la seguente:

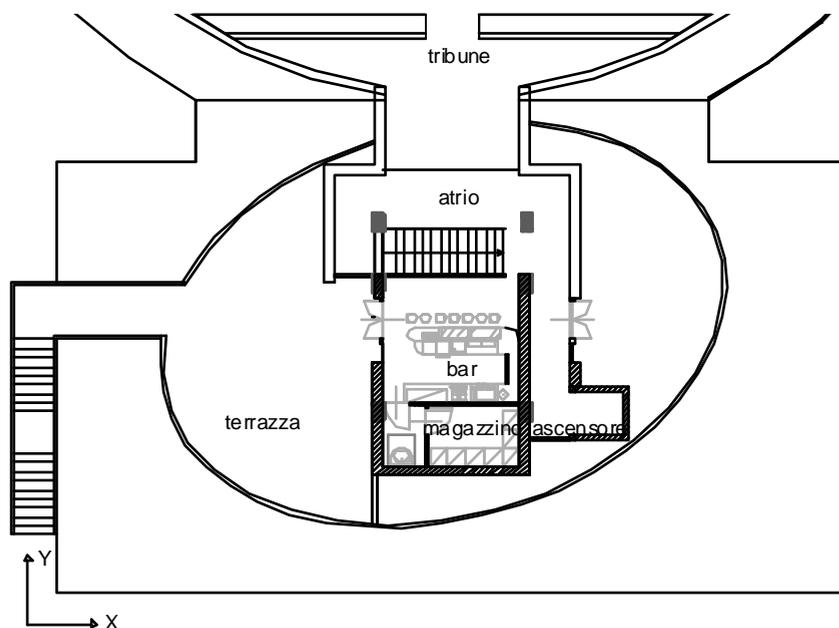


Figura 4.29: Soluzione strutturale adottata per la sopraelevazione. Tratteggiate le pareti XLam e evidenziati in grigio i pilastri in c.a. della struttura sottostante.

Con il tratteggio sono evidenziate le parti realizzate con struttura in XLam mentre evidenziati in grigio i pilastri in c.a. della struttura sottostante. Come si osserva le due pareti in XLam

disposte sul lato lungo trovano corrispondenza in soli due punti con le strutture verticali del piano sottostante. In questo caso, l'unica soluzione attuabile è stata quella di prevedere due pannelli interi per le pareti lunghe in direzione Y che svolgono la funzione di trave parete e ai quali sono collegate le pareti in direzione X. Per quanto riguarda queste ultime, la parete parallela al vano scala trova appoggio nei pilastri sottostanti, mentre l'altra parete esterna dal lato magazzino trova appoggio nelle travi parete in direzione Y alle quali è rigidamente collegata. Anche in questo caso le pareti saranno realizzate con struttura a pannelli portanti a strati incrociati a 5 strati di 100mm di spessore sormontati da una copertura a pannelli, a 5 strati di 147mm di spessore, disposti con orditura principale parallela al lato corto dell'edificio.

4.3 ESEMPIO DI CAPITOLATO TIPO PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI A STRUTTURA DI LEGNO PER L'EDILIZIA SPORTIVA

Le voci di capitolato qui riportate, relative alla realizzazione di edifici in legno per l'edilizia sportiva, vengono suddivise per macrovoci, riferite alle varie fasi relative alla progettazione, ossia progettazione architettonica, strutturale, impiantistica e energetica e per ciascuna di esse vengono distinte le varie soluzioni, strutturali, architettoniche e tipologiche applicabili.

4.3.1 OPERE STRUTTURALI

Voci di capitolato

OPERE IN LEGNO

Tutti i materiali e prodotti a base di legno per uso strutturale, devono essere classificati secondo la resistenza e identificati secondo le procedure applicabili descritte nel Capitolo 11.7 delle NTC 2008 e forniti da fornitori qualificati dal Servizio Tecnico Centrale o come "Produttore", ossia stabilimento di prima lavorazione di elementi base di legno strutturale non ancora lavorati a formare elementi strutturali pronti per la messa in opera o come "Centro di lavorazione" se trasforma i prodotti (anche già marcati CE) in elementi strutturali mediante lavorazioni (tagli, intagli, forature, applicazione di ferramenta, etc.).

Il Direttore dei Lavori ha l'obbligo di verificare la veridicità della documentazione accompagnatoria degli elementi strutturali componenti il lotto, ed in particolare e per ogni assortimento, deve essere presa visione dei seguenti documenti:

- certificato di marcatura CE rilasciato da Ente notificato preposto al Controllo di Produzione in Fabbrica relativamente la Norma Armonizzata di Prodotto interessata oppure a specifico sistema autorizzativo rilasciato tramite procedura ETAG/CUAP (Benestare Tecnico Europeo);
- dichiarazione di conformità rilasciata dal produttore o centro di lavorazione.

In alternativa, per quei prodotti non coperti da normativa comunitaria e per i prodotti che si possono ancora collocare all'interno del periodo di coesistenza, lo stesso Direttore Lavori deve accertarsi del regime di validità dell'attestato di qualificazione ministeriale come produttore o della denuncia di attività come centro di lavorazione.

Qualora il Direttore Lavori ritenga che vi sia una mancata rispondenza tra il materiale in ingresso in cantiere e la documentazione accompagnatoria del prodotto in esame è tenuto a rifiutare il lotto dandone opportuna motivazione. Deve controllare che le procedure di posa in opera siano conformi alle specifiche tecniche del produttore.

I limiti di emissione di formaldeide libera per gli incollaggi sono stabiliti dalle rispettive norme di prodotto per i prodotti strutturali a base di legno (EN 14080 per il legno lamellare, EN 13986 per i pannelli a base di legno).

Per gli elementi metallici utilizzati nei collegamenti della struttura realizzati su disegno (ferramenta speciale), dovranno essere usati acciai conformi alla normativa per le costruzioni metalliche sia per quanto riguarda i materiali che le saldature (DM.14/01/2008 o Eurocodice 3 EN 1993-1), così come per i bulloni e le barre filettate. Gli elementi di ferramenta, devono essere conformi a specifica norma armonizzata qualora esistente, (ad esempio i connettori

speciali (anelli e piastre dentate) devono essere conformi alla UNI EN 912 o alle indicazioni contenute nell'apposito un Benestare Tecnico Europeo.

Legno massiccio

Ogni elemento deve essere accompagnato dalla certificazione emessa dal produttore (marcatura CE in base alla EN 14081 o qualificazione ministeriale del produttore secondo quanto indicato al §11.7 delle NTC 2008). L'indicazione della classe di resistenza (secondo EN 338 e EN 1912 o secondo UNI 11035-1 E UNI 11035-2 per legno di provenienza italiana) è già sufficiente per identificare il tipo di legno sotto il profilo della resistenza, tuttavia è opportuno indicare anche la specie legnosa ed eventualmente altre caratteristiche tecnologiche specifiche della specie legnosa utilizzata (ad esempio limiti massimi di deviazione di fibratura, anche più stringenti rispetto ai requisiti di classificazione, per specie legnose possibilmente affette da tale difetto come il larice).

L'indicazione del trattamento è facoltativa e deve essere valutata in fase di progetto in funzione della classe di rischio e della specie legnosa.

E' necessario specificare il tipo di lavorazione superficiale, piallatura o a grezzo; nel caso si chiedi materiale piallato specificare sempre che le dimensioni indicate si riferiscono al materiale già piallato.

Legno lamellare incollato

Ogni elemento deve essere accompagnato dalla certificazione emessa dal produttore (marcatura CE in base alla EN 14080 o qualificazione ministeriale del produttore secondo quanto indicato al §11.7 delle NTC 2008), dotato della certificazione di idoneità all'incollaggio di elementi strutturali di grandi luci, contenente i riferimenti sulla fornitura, sul metodo usato per la classificazione delle lamelle (se a macchina con l'indicazione del tipo di macchina classificatrice), sulla classe di qualità del legno, sul tipo di incollaggio e la qualità di colla usata, che deve essere omologata secondo la EN 301, che deve risultare idonea all'uso nell'ambiente di destinazione dell'elemento e superare le prove descritte da EN 391, EN 392.

Il legno lamellare per il cordolo di base delle pareti deve essere di larice con incollaggio tipo tipo I se in classe di servizio 3, tipo II se in classe di servizio 1 o 2 secondo EN301; in alternativa può essere utilizzato legno massiccio tipo bilama o trilama sempre di larice ad incollaggio tipo I se in classe di servizio 3, tipo II se in classe di servizio 1 o 2.

Negli elementi di larice è tollerata la presenza di albume in ragione del 5% massimo in ciascuna sezione; ciascuna superficie di incollaggio non deve essere interessata da albume per una misura superiore al 25% in sezione.

Pannelli di legno massiccio a strati incrociati

Ogni elemento deve essere accompagnato dalla certificazione emessa dal produttore (marcatura CE in base a Benestare Tecnico Europeo o Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego secondo le NTC), dotato della certificazione di idoneità all'incollaggio, contenente i riferimenti sulla fornitura, sul metodo usato per la classificazione delle tavole (se a macchina con l'indicazione del tipo di macchina classificatrice), sulla classe di qualità del legno, sul tipo di incollaggio e la qualità di colla usata, che deve essere omologata secondo la EN 301, che deve risultare idonea all'uso nell'ambiente di destinazione dell'elemento e superare le prove descritte da EN 391, EN 392. I giunti a dita (o a pettine) di testa fra le tavole devono essere conformi alle indicazioni riportate della norma EN 385 e EN 387. L'emissione di formaldeide delle colle deve risultare inferiore ai limiti contenuti nella norma europea EN 13986

Pannelli di scaglie orientate (OSB)

Ogni elemento deve essere accompagnato dalla certificazione emessa dal produttore (marcatura CE secondo la EN 13986), dotata della certificazione di idoneità all'incollaggio, contenente i riferimenti sulla fornitura, sul tipo di incollaggio e la qualità di colla usata, che deve essere omologata secondo la EN 301, che deve risultare idonea all'uso nell'ambiente di destinazione dell'elemento e superare le prove descritte da EN 391, EN 392. L'emissione di formaldeide dei collanti deve risultare inferiore ai limiti contenuti nella norma europea EN 13986

Dovrà trattarsi di pannelli di scaglie di legno orientate incollate con pressatura a caldo classe 2 e/o 3 e/o 4 come da progetto, secondo EN300 e EN13986.

Disciplinare prestazionale

Voci per edifici Xlam

- Fornitura e posa in opera di **fondazione in calcestruzzo armato**, come da disegni esecutivi, comprendente: Conglomerato cementizio per sottofondazioni, riempimenti e getti di pulizia, confezionato con cemento tipo ... a norma di legge con inerti calcarei o di fiume di idonea granulometria, Rck non inferiore a ... N/mm², dato in opera compreso l'impiego eventuale di additivi di qualunque tipo (fluidificanti, antigelo, idrofughi) e ogni altro onere e magistero per dare il lavoro finito a regola d'arte. Soloio in laterocemento sovraccarico accidentale applicabile sul manufatto: ... Kg/mq. Soletta in ... spessore ... cm armata con Isolamento con ... spessore ...mm, densità ... kg/m³. Sottofondo per pavimentazioni eseguito con calcestruzzo di cemento ... battuto, tirato a regola d'arte, piallettato con fratazzo fine e ben livellato, spessore cm. Fornitura e posa in opera di conglomerato cementizio per strutture di fondazione armate quali travi rovesce, solettoni, plinti, palificazioni, cordoli, platee, sottofondazioni anche eseguite a tratti, e altre strutture assimilabili in c.a., confezionato a norma di legge con cemento tipo ... e inerti calcarei o di fiume di idonea granulometria, dato in opera compreso costipamento meccanico o a mano, l'impiego eventuale di additivi di qualunque tipo (fluidificanti, antigelo, idrofughi) e ogni altro onere e magistero per dare il lavoro finito a regola d'arte. Fornitura e posa in opera di Casseforme per getti di conglomerato cementizio semplice o armato, comunque eseguite anche a sagoma curva, per fondazioni o in elevazione, compresi i sostegni, i puntelli, i cunei per il disarmo, il disarmante, la pulitura del materiale per il reimpiego, gli sfridi, il taglio a misura, i ponti di servizio e compreso l'impiego di materiale atto ad evitare rotture, riprese di sbavature e incomplanarità, ecc. Armatura in acciaio per strutture in c.a. del tipo ..., compresi tutti gli oneri per legature, tagli, sfridi, adattamenti, piegature, fili, distanziatori, i ponti di servizio, ecc. Il ferro si intende ad aderenza migliorata, controllato in stabilimento. Compreso drenaggio con ghiaia e tubo dreno microforato.
- Parete portante esterna – Fornitura e posa in opera di parete portante perimetrale come da disegni esecutivi formata (dall'esterno verso l'interno) da:
 - intonaco a base di calce idraulica naturale, spessore 7 mm, armato con apposita rete in fibra di vetro, finito superficialmente con intonachino bianco o colorato ai silicati oppure tavolato di larice con impregnante protettivo filtro anti UV;

- isolamento esterno a cappotto continuo posato in aderenza al pannello strutturale e ad esso meccanicamente vincolato con n° 8 tasselli per mq. Il pannello isolante avrà uno spessore di mm...; la parte bassa fino ad un'altezza di 25 / 30 cm sarà costituita da pannello isolante di egual spessore costituito in materiale a bassa igroscopicità (XPS o schiuma di vetro);
- pannello di legno massiccio a ... strati incollati incrociati di abete spessore totale ... mm posato su cordolo di legno lamellare di larice classe GL... posato su idonei spessoramenti anche questo compreso;
- fibrogesso tipo ... secondo EN 520 classe ... spessore ... mm fissato su montanti metallici da ... mm a formare l'intercapedine per la posa degli impianti. Il cavedio sarà riempito da uno strato di isolante flessibile (fibra di legno da 40 kg/mc o fibra di canapa) posizionato a colmare completamente i vuoti rimanente tra gli impianti, la parete in legno e il placcaggio in fibrogesso.
- Il tutto completo di fissaggi sia strutturali del pannello strutturale alla fondazione, dei pannelli fra loro, completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compresa posa e fissaggi del cappotto e della finitura interna, comprese stuccature e finiture. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.
- Parete portante interna – Fornitura e posa in opera di parete portante interna come da disegni esecutivi formata da
 - fibrogesso tipo ... secondo EN 520 classe ... spessore ... mm fissato su montanti metallici da ... mm a formare l'intercapedine per la posa degli impianti;
 - pannello di legno massiccio a ... strati incollati incrociati di abete spessore totale ... mm su cordolo di legno lamellare di larice classe GL... posato su idonei spessoramenti anche questo compreso;
 - isolante in fibra di legno o canapa con densità di 40 kg/m³ posizionato a colmare completamente i vuoti rimanente tra gli impianti, la parete in legno e il placcaggio in fibrogesso,
 - fibrogesso tipo ... secondo EN 520 classe ... spessore ... mm fissato su montanti metallici da ... mm a formare l'intercapedine per la posa degli impianti e dello strato di isolante interno.
 - Il tutto completo di fissaggi sia strutturali del pannello strutturale alla fondazione, dei pannelli fra loro, completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compresa posa e fissaggi del cappotto e del fibrogesso, comprese stuccature e finiture. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.
- Solaio di interpiano – Fornitura e posa in opera di solaio di interpiano come da disegni esecutivi formato (dal basso verso l'alto) da:
 - struttura principale con travi di legno lamellare di abete classe GL... secondo EN 1194,
 - primo tavolato in legno massiccio spessore ...mm lavorato o lasciato grezzo,
 - foglio di carta Kraft avente funzione di barriera antipolvere
 - secondo tavolato in legno massiccio spessore ..., lasciato grezzo disposto con fibratura a 45° rispetto al primo tavolato, oppure pannello superiore di OSB tipo ... spessore ... mm, fissato con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm ad interasse ...mm oppure soletta in calcestruzzo ... cm connessa

agli elementi lignei sottostanti con connettori tipo ..., diametro ... posti all'interasse indicato nelle tavole strutturali, armata con ..., armatura in acciaio per strutture in c.a. del tipo ..., compresi tutti gli oneri per legature, tagli, sfridi, adattamenti, piegature, fili, distanziatori, i ponti di servizio, ecc; il ferro si intende ad aderenza migliorata, controllato in stabilimento;

- oppure struttura principale con pannello di legno massiccio a ... strati incollati incrociati di abete spessore totale ... mm;
 - pacchetto formato da massetto alleggerito portaimpanti densità ... kg/m³ spessore ...mm, disaccoppiante acustico tipo ..., sottofondo per pavimentazioni eseguito con calcestruzzo di cemento ... battuto, tirato a regolo piallettato con fratazzo fine e ben livellato, spessore ... cm,
 - rivestimento calpestabile ...
 - Il tutto completo di fissaggi sia strutturali degli elementi strutturali alle pareti, degli elementi fra loro, completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.
- Copertura – Finitura e posa in opera di copertura come da disegni esecutivi formata (dal basso verso l'alto) da:
 - struttura principale con travi di legno lamellare di abete classe GL... secondo EN 1194,
 - primo tavolato in legno massiccio spessore ...mm lavorato o lasciato grezzo,
 - foglio di carta Kraft avente funzione di barriera antipolvere
 - secondo tavolato in legno massiccio spessore ..., lasciato grezzo disposto con fibratura a 45° rispetto al primo tavolato, oppure pannello superiore di OSB tipo ... spessore ... mm, fissato con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm ad interasse ...mm;
 - oppure struttura principale con pannello di legno massiccio a ... strati incollati incrociati di abete spessore totale ... mm; il pacchetto formato da listello/...mm; listello/...mm;
 - barriera igrovariabile di tenuta all'aria e regolazione del transito del vapore
 - isolamento in fibra di legno con densità 140 kg/mc, con ... spessore ...mm
 - pannello in fibra di legno con densità 220 kg/mc, resistente all'impronta del listello di ventilazione, spessore 20 mm;
 - guaina traspirante Sd=...millimitatamente resistente ai raggi UV;
 - listelli di ventilazione 40/50 mm;
 - listelli portamanto 40/50;
 - compreso manto di copertura tipo ... o equivalente per tetti a falda inclinata costituito da elementi ... ancorati alla struttura sottostante mediante ...
 - Il tutto completo di fissaggi sia strutturali degli elementi strutturali alle pareti, degli elementi fra loro, completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.

Voci per edifici Platform

- Fornitura e posa in opera di **fondazione in calcestruzzo armato**, come da disegni esecutivi, comprendente: Conglomerato cementizio per sottofondazioni, riempimenti e getti di pulizia, confezionato con cemento tipo ... a norma di legge con inerti calcarei o di fiume di idonea granulometria, Rck non inferiore a ... N/mm², dato in opera compreso l'impiego eventuale di additivi di qualunque tipo (fluidificanti, antigelo, idrofughi) e ogni altro onere e magistero per dare il lavoro finito a regola d'arte. Soletto in laterocemento sovraccarico accidentale applicabile sul manufatto: ... Kg/m². Soletta in ... spessore ... cm armata con Isolamento con ... spessore ...mm, densità ...kg/m³. Sottofondo per pavimentazioni eseguito con calcestruzzo di cemento ... battuto, tirato a regola d'arte. Fornitura e posa in opera di conglomerato cementizio per strutture di fondazione armate quali travi rovesce, solettoni, plinti, palificazioni, cordoli, platee, sottofondazioni anche eseguite a tratti, e altre strutture assimilabili in c.a., confezionato a norma di legge con cemento tipo ... e inerti calcarei o di fiume di idonea granulometria, dato in opera compreso costipamento meccanico o a mano, l'impiego eventuale di additivi di qualunque tipo (fluidificanti, antigelo, idrofughi) e ogni altro onere e magistero per dare il lavoro finito a regola d'arte. Fornitura e posa in opera di Casseforme per getti di conglomerato cementizio semplice o armato, comunque eseguite anche a sagoma curva, per fondazioni o in elevazione, compresi i sostegni, i puntelli, i cunei per il disarmo, il disarmante, la pulitura del materiale per il reimpiego, gli sfridi, il taglio a misura, i ponti di servizio e compreso l'impiego di materiale atto ad evitare rotture, riprese di sbavature e incomplanarità, ecc. Armatura in acciaio per strutture in c.a. del tipo ..., compresi tutti gli oneri per legature, tagli, sfridi, adattamenti, piegature, fili, distanziatori, i ponti di servizio, ecc. Il ferro si intende ad aderenza migliorata, controllato in stabilimento. Compreso drenaggio con ghiaia e tubo dreno microforato.
- Parete portante esterna – Fornitura e posa in opera di parete portante perimetrale come da disegni esecutivi formata (dall'esterno verso l'interno) da:
 - intonaco a base di calce idraulica naturale, spessore 7 mm, armato con apposita rete in fibra di vetro, finito superficialmente con intonachino bianco o colorato ai silicati oppure tavolato di larice con impregnante protettivo filtro anti UV;
 - isolamento esterno a cappotto continuo posato in aderenza al pannello strutturale e ad esso meccanicamente vincolato con n° 8 tasselli per mq. Il pannello isolante avrà uno spessore di mm...; la parte bassa fino ad un'altezza di 25 / 30 cm sarà costituita da pannello isolante di egual spessore costituito in materiale a bassa igroscopicità (XPS o schiuma di vetro);
 - tavolato spessore mm... fissato diagonalmente ai montanti e ai traversi con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm o eventuale pannello di OSB tipo 3 spessore ... mm, fissato ai montanti e ai traversi con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm all'interasse segnato sulle tavole progettuali comunque mai superiore ai 150mm sul bordo esterno del pannello ai 300mm sui collegamenti centrali al pannello
 - telaio formato dai montanti e dai correnti in legno massiccio secondo EN 14081 o legno lamellare incollato secondo EN 14080,

- isolante in fibra di legno o canapa con densità di 40 kg/m³ posizionato a colmare completamente i vuoti rimanenti all'interno di ogni telaio tra i montanti, traversi ed i placcaggi,
 - parete strutturale formata da pannello di OSB tipo 3 spessore ... mm, fissato ai montanti e ai traversi con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm all'interasse segnato sulle tavole progettuali comunque mai superiore ai 150mm sul bordo esterno del pannello ai 300mm sui collegamenti centrali al pannello, nastrato sui giunti con nastro per tenuta all'aria, montanti e traversi di legno lamellare di abete classe GL... secondo EN 1194,
 - il tutto impostato su cordolo di legno lamellare di larice classe GL... posato su idonei spessoramenti anche questi compresi;
 - fibrogesso tipo ... secondo EN 520 classe ... spessore ... mm fissato su montanti metallici da ... mm a formare l'intercapedine per la posa degli impianti e lo strato eventuale di isolante interno.
 - Il tutto completo di fissaggi strutturali sia del cordolo di larice alla fondazione, dei pannelli di OSB ai montanti e ai traversi, della parete alla fondazione, il tutto completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compresa posa e fissaggi del cappotto e della finitura interna, comprese stuccature e finiture. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.
- Parete portante interna – Fornitura e posa in opera di parete portante interna come da disegni esecutivi formata da:
 - fibrogesso tipo ... secondo EN 520 classe ... spessore ... mm fissato su montanti metallici da ... mm a formare l'intercapedine per la posa degli impianti;
 - parete strutturale formata da pannello di OSB tipo 3 spessore ... mm, fissato ai montanti e ai traversi con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm all'interasse segnato sulle tavole progettuali comunque mai superiore ai 150mm sul bordo esterno del pannello ai 300mm sui collegamenti centrali al pannello, nastrato sui giunti con nastro per tenuta all'aria, montanti e traversi di legno lamellare di abete classe GL... secondo EN 1194, eventuale pannello di OSB interno tipo 3 spessore ... mm, fissato ai montanti e ai traversi con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm all'interasse segnato sulle tavole progettuali comunque mai superiore ai 150mm sul bordo esterno del pannello ai 300mm sui collegamenti centrali al pannello, nastrato sui giunti con nastro per tenuta all'aria, il tutto impostato su cordolo di legno lamellare di larice classe GL... posato su idonei spessoramenti anche questi compresi;
 - isolante in fibra di legno o canapa con densità di 40 kg/m³ inserito nell'intercapedine formata dai montanti e dai traversi strutturali,
 - fibrogesso tipo ... secondo EN 520 classe ... spessore ... mm fissato su montanti metallici da ... mm a formare l'intercapedine per la posa degli impianti.
 - Il tutto completo di fissaggi sia strutturali del pannello strutturale alla fondazione, dei pannelli fra loro, completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compresa posa e fissaggi del cappotto e del fibrogesso, comprese stuccature e finiture. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.

- Solaio di interpiano – Finitura e posa in opera di solaio di interpiano come da disegni esecutivi formato (dal basso verso l'alto) da:
 - struttura principale con travi di legno lamellare di abete classe GL... secondo EN 1194,
 - primo tavolato in legno massiccio spessore ...mm lavorato o lasciato grezzo,
 - foglio di carta Kraft avente funzione di barriera antipolvere
 - secondo tavolato in legno massiccio spessore ..., lasciato grezzo disposto con fibratura a 45° rispetto al primo tavolato, oppure pannello superiore di OSB tipo ... spessore ... mm, fissato con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm ad interasse ...mm oppure soletta in calcestruzzo ... cm connessa agli elementi lignei sottostanti con connettori tipo ..., diametro ... posti all'interasse indicato nelle tavole strutturali, armata con ..., armatura in acciaio per strutture in c.a. del tipo ..., compresi tutti gli oneri per legature, tagli, sfridi, adattamenti, piegature, fili, distanziabri, i ponti di servizio, ecc; il ferro si intende ad aderenza migliorata, controllato in stabilimento;
 - oppure struttura principale con pannello di legno massiccio a ... strati incollati incrociati di abete spessore totale ... mm;
 - pacchetto formato da massetto alleggerito portaimpianti densità ... kg/m³ spessore ...mm, disaccoppiante acustico tipo ..., sottofondo per pavimentazioni eseguito con calcestruzzo di cemento ... battuto, tirato a regola piattato con fratazzo fine e ben livellato, spessore ... cm,
 - rivestimento calpestabile ...
 - Il tutto completo di fissaggi sia strutturali degli elementi strutturali alle pareti, degli elementi fra loro, completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.
 -
- Copertura – Finitura e posa in opera di copertura come da disegni esecutivi formata (dal basso verso l'alto) da:
 - struttura principale con travi di legno lamellare di abete classe GL... secondo EN 1194,
 - primo tavolato in legno massiccio spessore ...mm lavorato o lasciato grezzo,
 - foglio di carta Kraft avente funzione di barriera antipolvere
 - secondo tavolato in legno massiccio spessore ..., lasciato grezzo disposto con fibratura a 45° rispetto al primo tavolato, oppure pannello superiore di OSB tipo ... spessore ... mm, fissato con chiodi ad aderenza migliorata diametro ... mm e lunghezza ...mm ad interasse ...mm;
 - barriera igrovariabile di tenuta all'aria e regolazione del transito del vapore
 - isolamento in fibra di legno con densità 140 kg/mc, con ... spessore ...mm
 - pannello in fibra di legno con densità 220 kg/mc, resistente all'impronta del listello di ventilazione, spessore 20 mm;
 - guaina traspirante Sd=...m illimitatamente resistente ai raggi UV;
 - listelli di ventilazione 40/50 mm;
 - listelli portamanto 40/50;
 - compreso manto di copertura tipo ... o equivalente per tetti a falda inclinata costituito da elementi ... ancorati alla struttura sottostante mediante

- Il tutto completo di fissaggi sia strutturali degli elementi strutturali alle pareti, degli elementi fra loro, completo di elementi di completamento quali architravi e pezzi speciali e relativi fissaggi. Compreso qualsiasi onere e magistero per eseguire l'opera completa e a perfetta regola d'arte.

4.3.2 OPERE ARCHITETTONICHE

Sottofondo

Fornitura e posa in opera di un massetto per pavimentazioni flessibile (resino-vinilici, moquettes, parquets ecc.) eseguito secondo le seguenti fasi e metodologie e confezionato in conformità alle vigenti norme di legge nelle classi di resistenza stabilite dalla D.L. e additivato con: fibre sintetiche strutturali,

- monofilamento non fibrillate, di lunghezza pari a 19 mm e peso specifico 0,91 kg/dm³, a base di una miscela speciale di copolimeri;

- fibrillate in polipropilene, in grado di ridurre il ritiro plastico e atte a garantire una distribuzione isotropica e una più rapida miscelazione del composto.

Il prodotto, provvisto di marcatura, deve rispondere ai requisiti minimi prestazionali richiesti dalla Norma UNI EN 14889-2 per usi strutturali.

Durante l'esecuzione del getto la struttura non dovrà essere sottoposta a vibrazioni di intensità tale da compromettere l'aderenza malta-supporto per almeno 12 ore, né si potranno applicare forti sollecitazioni (carichi) prima di 48 ore dall'intervento.

Copertura

- Fornitura e posa in opera di doccia in rame semitondo o quadro, sp. 8/10, sv. 330, compreso cicogne murate e chiodate poste ad interasse non superiore a 1,00 m, con collare di sostegno, testate e saldature oltre agli accessori di fissaggio, oltre l'onere per la formazione dei giunti e sovrapposizioni, le legature con filo di ferro zincato e quant'altro occorra per avere l'opera finita a perfetta regola d'arte.
- Fornitura e posa in opera di pluviale in tubo tondo di rame spess. 8/10 - d 100 - completi di cicogne o staffe poste ad interasse non superiore a m 1,50, con collare di sostegno e saldature, imbocchi, curve, imbuto di attacco al canale di gronda e quant'altro occorra per avere l'opera finita a perfetta regola d'arte.

203

Pavimentazioni e rivestimenti interni

- Fornitura di pavimentazione, battiscopa e rivestimento laterale in Linoleum monostrato con le certificazioni: Swan, Blauer Engel e Austrian Eco Label. La composizione dovrà risultare da una mescolanza omogenea di olio di lino ossidato, resine naturali, farina di legno e sughero e pigmenti colorati; il tutto calandrato su juta naturale. Questo pavimento non dovrà presentare trattamenti superficiali poliuretatici o comunque con prodotti sintetici. Il pavimento dovrà essere conforme alla norma EN 548 e dovrà essere fornito di spessore di 3,2 mm. (EN428), in teli di cm. 200 (EN426) di altezza. I teli del pavimento dovranno essere saldati a caldo con apposito cordolo dello stesso colore. Compreso il materiale per l'incollaggio, le saldature e l'onere per la realizzazione del battiscopa di altezza pari a 15 cm comprensivo di sguscia, debitamente ancorata e completo di ogni onere per la sua realizzazione, e qualora sia necessario di parasigoli a protezione degli angoli. Compreso ogni ulteriore onere per avere l'opera finita eseguita a perfetta regola d'arte. N.B. Dovrà essere depositata

apposita scheda tecnica per il trattamento e la manutenzione del prodotto posato, oltre le necessarie caratteristiche tecniche dello stesso.

- Fornitura e posa in opera di materiale lapideo (pietra arenaria extra dura) per formazione di soglia e stipiti, dello spessore di 2 cm, con superfici e coste in vista levigate e leggermente smussate, stuccate, poste in opera con malta idraulica su superfici orizzontali e verticali compresa regolarizzazione dei piani, zanche di ancoraggio, la pulitura ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera completa a perfetta regola d'arte.
- Finiture

Applicazione di una o due mani di pittura lavabile, traspirante a base di oli e resine vegetali, cera d'api vergine e sali di boro.

Il prodotto deve essere traspirante e resistente alle muffe.

Costituita da materie prime naturali provenienti da fonti rinnovabili e minerali, esenti da sostanze chimiche e d'origine petrolifera Il materiale dovrà essere accompagnato da dichiarazione completa dei componenti utilizzati.

4.3.3 IMPIANTO TERMICO

Sottofondo

204

Fornitura e posa in opera di un massetto per pavimentazioni flessibile (resino-vinilici, moquettes, parquets ecc.) eseguito secondo le seguenti fasi e metodologie e confezionato in conformità alle vigenti norme di legge nelle classi di resistenza stabilite dalla D.L. e additivato con: fibre sintetiche strutturali,

- monofilamento non fibrillate, di lunghezza pari a 19 mm e peso specifico 0,91 kg/dm³, a base di una miscela speciale di copolimeri;
- fibrillate in polipropilene, in grado di ridurre il ritiro plastico e atte a garantire una distribuzione isotropica e una più rapida miscelazione del composto.

Il prodotto, provvisto di marcatura, deve rispondere ai requisiti minimi prestazionali richiesti dalla Norma UNI EN 14889-2 per usi strutturali.

Durante l'esecuzione del getto la struttura non dovrà essere sottoposta a vibrazioni di intensità tale da compromettere l'aderenza malta-supporto per almeno 12 ore, né si potranno applicare forti sollecitazioni (carichi) prima di 48 ore dall'intervento.

4.3.4 IMPIANTO AERAUICO

Impianto di ventilazione

- Fornitura e posa in opera di unità di recupero calore con circuito frigorifero composta essenzialmente da: Struttura e pannellatura: struttura costituita da pannelli autoportanti sandwich con spessore 20 mm in lamiera zincata con isolamento in poliuretano iniettato (densità 40 kg/mc). Ventilatori: centrifughi a doppia aspirazione a pale avanti

con motore direttamente accoppiato. Motore, monofase 230V - 50 Hz, a singola velocità. Portata aria controllata tramite regolatori elettronici a taglio di fase. Circuito frigorifero: funzionamento in pompa di calore, completo di compressore scroll ad elevata efficienza e silenziosità, valvola a 4 vie per inversione ciclo, batteria evaporante, batteria condensante, ricevitore di liquido, separatore di liquido, doppia valvola termostatica, filtro deidratatore, pressostati di alta / bassa pressione. Vasca di raccolta condensa: costruita in peraluman, facilmente smontabile. Batterie evaporanti/condensanti: con tubo rigato in rame e alette corrugate in alluminio ad alta efficienza. Filtri: di tipo a celle, con setto ondulato posizionati prima del recuperatore sia in ripresa che in mandata del flusso d'aria, classe G3 secondo la classificazione UNI EN 779 con efficienza ponderale dell'80%, spessore 48 mm. Pressostato filtri sporchi: pressostato differenziale posto vicino ai regolatori elettronici per la segnalazione dell'intasamento del filtro posto in mandata. Recuperatore di calore: di tipo statico a flussi incrociati in piastre di alluminio. Efficienza media in regime invernale superiore al 50%. Regolazione: quadro elettrico completo di sezione di potenza e regolazione atti a garantire la gestione di tutte le funzioni del circuito frigorifero; sono presenti:- sonda di temperatura NTC sulla ripresa aria ambiente;- sonda di temperatura aria esterna;- pressostato sul filtro posto in mandata. È compreso il terminale remoto di controllo per la gestione automatica dell'unità, remotabile fino a 150 metri, con il quale è possibile svolgere le seguenti funzioni:- accensione e spegnimento dell'unità;- commutazione estate / inverno;- impostazione parametri di set-point;- lettura temperatura ambiente. Compresi e compensati nel prezzo l'assemblaggio, il posizionamento, i collegamenti aereali, elettrici e lo scarico condensa fino allo scarico delle acque bianche più vicino. ITEM: HR-75.

- Fornitura e posa in opera di unità di recupero calore con circuito frigorifero composta essenzialmente da:

Struttura e pannellatura:

struttura costituita da pannelli autoportanti sandwich con spessore 20 mm in lamiera zincata con isolamento in poliuretano iniettato (densità 40 kg/mc).

Ventilatori: centrifughi a doppia aspirazione a pale avanti con motore direttamente accoppiato. Motore, monofase 230V - 50 Hz, a singola velocità. Portata aria controllata tramite regolatori elettronici a taglio di fase.

Circuito frigorifero: funzionamento in pompa di calore, completo di compressore scroll ad elevata efficienza e silenziosità, valvola a 4 vie per inversione ciclo, batteria evaporante, batteria condensante, ricevitore di liquido, separatore di liquido, doppia valvola termostatica, spia liquido e filtro deidratatore, pressostati di alta / bassa pressione.

Vasca di raccolta condensa: costruita in peraluman, facilmente smontabile.

Batterie evaporanti/condensanti: con tubo rigato in rame e alette corrugate in alluminio ad alta efficienza.

Filtri: di tipo a celle, con setto ondulato posizionati prima del recuperatore sia in ripresa che in mandata del flusso d'aria, classe G3 secondo la classificazione UNI EN 779 con efficienza ponderale dell'80%, spessore 48 mm.

Pressostato filtri sporchi: pressostato differenziale posto vicino ai regolatori elettronici per la segnalazione dell'intasamento del filtro posto in mandata.

Recuperatore di calore: di tipo statico a flussi incrociati in piastre di alluminio.

Efficienza media in regime invernale superiore al 50%.

Regolazione: quadro elettrico completo di sezione di potenza e regolazione atti a garantire la gestione di tutte le funzioni del circuito frigorifero; sono presenti:

- sonda di temperatura NTC sulla ripresa aria ambiente;
- sonda di temperatura aria esterna;
- pressostato sul filtro posto in mandata.

È compreso il terminale remoto di controllo per la gestione automatica dell'unità, remotabile fino a 150 metri, con il quale è possibile svolgere le seguenti funzioni:

- accensione e spegnimento dell'unità;
- commutazione estate / inverno;
- impostazione parametri di set-point;
- lettura temperatura ambiente.

Compresi e compensati nel prezzo l'assemblaggio, il posizionamento, i collegamenti aerulici, elettrici e lo scarico condensa fino allo scarico delle acque bianche più vicino.

- Fornitura e posa in opera di canali in lamiera di acciaio zincato a sezione quadrata o circolare per la distribuzione dell'aria, in opera completi di accessori per l'installazione, pezzi speciali e staffaggi. Verniciati nei colori a scelta della D.L
- Fornitura e posa in opera di griglia di ripresa ad alette inclinate fisse con passo 50 mm in acciaio zincato, completa di rete anti-topo, dimensioni 600x300 mm.ITEM: TA-01
- Fornitura e posa in opera di griglia di ripresa ad alette inclinate fisse con passo 50 mm in acciaio zincato, completa di rete anti-topo, dimensioni 800x400 mm.ITEM: TA-03
- Fornitura e posa in opera di bocchetta di mandata per canali circolari, calandrata, a doppio filare di alette singolarmente regolabili, completa di serranda di taratura dim 600x75 mm.ITEM: TA-02
- Fornitura e posa in opera di bocchetta di mandata per canali circolari, calandrata, a doppio filare di alette singolarmente regolabili, completa di serranda di taratura dim 300x75 mm.ITEM: TA-04

206

Impianto idrico-sanitario

- Fornitura e posa in opera di collettore di distribuzione idrosanitaria preassemblato in cassetta da incasso fino a 5 derivazioni, P.max 10bar, campo di temperatura 5°:100°C, interasse composizione 35 mm, composto da collettori completi di derivazioni con rubinetti, valvole di intercettazione generale, regolatori di portata sulla mandata, valvole con testine termostattizzabili (teste elettrotermiche), valvola di miscelazione modulante, circolatore, supporti, cassetta di contenimento completa di coperchio.Compreso e compensato nel prezzo l'onere per la realizzazione dell'incasso nelle murature.
- Fornitura e posa in opera di cassetta di alloggiamento collettore in lamiera di acciaio, per montaggio ad incasso nel muro completa di coperchio. Sono comprese le opere murarie di apertura e chiusura di tracce su laterizi forati e murature leggere con esclusione di tracce su solette, muri in C.A. o in pietra e di rifacimento dell'intonaco. Dimensioni Altezza x Larghezza x Profondità: H x L x P (mm) = 410 x 325 x 110.
- Fornitura e posa in opera di caldaia a condensazione alimentazione G20 metano con
 - pompa di circolazione;

- Vaso di espansione;
- Organi di sicurezza;
- Riscaldatore istantaneo per ACS
- Regolazione o comando esterni/remoti.
- Potenzialità in riscaldamento: 24 kW
- Rendimento min: 1

comprensiva di raccordo al camino e presa aria comburente, realizzato con moduli in tubo in acciaio inox aisi 316 diametro 80 mm, completo di tutti i pezzi speciali quali curve, linea alimentazione gas realizzata in tubo di rame rivestito in PVC, raccordi e quant'altro necessario per essere posto in opera a regola d'arte.

4.3.5 IMPIANTO ELETTRICO

- Fornitura e posa in opera di cassetta di alloggiamento collettore in lamiera di acciaio, per montaggio ad incasso nel muro completa di coperchio. Sono comprese le opere murarie di apertura e chiusura di tracce su laterizi forati e murature leggere con esclusione di tracce su solette, muri in C.A. o in pietra e di rifacimento dell'intonaco. Dimensioni Altezza x Larghezza x Profondità: H x L x P (mm) = 410 x 325 x 110.
- Fornitura e posa in opera di collettore di distribuzione a 12 vie per impianto radiante di riscaldamento e raffrescamento con valvola miscelatrice modulante, testine termostattizzabili e regolatore di portata
- Fornitura e posa in opera di tubo Alpert 16x2 in rotoli da 250 m induse clip fermatubi a fissaggio manuale e striscia isolante perimetrale
- Fornitura e posa in opera di centralina di termoregolazione
- Sistema solare a circolazione naturale con accumulo integrato : Fornitura e posa in opera di sistema integrato completo, costituito da collettori solari piani vetrati e serbatoio di accumulo a vista soprastante, coibentato e munito di scambiatore immerso, circuito chiuso collettori-scambiatore riempito con liquido antigelo - Incluse opere murarie per ancoraggi e tracce - Impianto solare con 3 collettori mq. 6 - accumulo l. 300
- Fornitura e posa in opera di caldaia a condensazione alimentazione G20 metano con
 - pompa di circolazione;
 - Vaso di espansione;
 - Organi di sicurezza;
 - Riscaldatore istantaneo per ACS
 - Regolazione o comando esterni/remoti.
 - Potenzialità in riscaldamento: 24 kW
 - Rendimento min: 1

comprensiva di raccordo al camino e presa aria comburente, realizzato con moduli in tubo in acciaio inox aisi 316 diametro 80 mm, completo di tutti i pezzi speciali quali curve, linea alimentazione gas realizzata in tubo di rame rivestito in PVC, raccordi e quant'altro necessario per essere posto in opera a regola d'arte.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] AA. VV. Giunta Regionale Toscana, Direzione generale della Presidenza (2009) – “Linee guida per l’edilizia in legno in Toscana”.
- [2] Berti S., Piazza M., Zanuttini R. (2002), Strutture di legno per un’edilizia sostenibile, Il Sole 24Ore, Milano.