

EDIFICI A STRUTTURA DI LEGNO

progettazione e realizzazione

a cura di

studiodeda
SUSTAINABLE DESIGN BY NETWORKING



Indice

INTRODUZIONE: SCOPO DEL LAVORO E AMBITI APPLICATIVI

1 GESTIONE FORESTALE E SOSTENIBILITÀ

1.1	La sostenibilità nel settore forestale e del legno per un'edilizia certificata	2
1.2	La realtà forestale italiana	9
1.3	Attuazione di processi di filiera corta: lo sfruttamento della risorsa boschiva tra tutela del territorio e rilancio occupazionale delle aree montane	
1.4	I regolamenti edilizi ed il loro rapporto con la sostenibilità e l'edilizia in legno	

2 LEGNO STRUTTURALE E MATERIALI A BASE DI LEGNO

2.1	Incollaggi strutturali: caratteristiche tecniche e tossicità	16
2.2	Legno massiccio e legno lamellare incollato	
2.3	Pannelli strutturali leggeri e pannelli di legno massiccio a strati incrociati	
2.4	Isolanti e altri materiali a base di legno	
2.5	La certificazione del materiale secondo le direttive europee sui prodotti da costruzione (marcatura CE, ETA)	

3 COMPORTAMENTO STRUTTURALE, CRITERI DI PROGETTAZIONE, RIFERIMENTI NORMATIVI

3.1	Il quadro normativo: NTC e Eurocodici	25
3.2	Principi di progettazione delle strutture di legno, unioni e tipologie di collegamento	45
3.3	Comportamento sismico e al fuoco delle strutture di legno	61
3.4	Sistemi costruttivi per l'edilizia in legno: tipologie, caratteristiche costruttive, criteri di progettazione	83

4 EFFICIENZA ENERGETICA E COMFORT DEGLI EDIFICI IN LEGNO

4.1	Isolamento termico e risparmio energetico	124
4.2	Permeabilità e tenuta all'aria nelle strutture in legno	141
4.3	La scelta dell'isolante e il suo posizionamento	153
4.4	Isolamento acustico negli edifici in legno	
4.5	Protocolli di certificazione energetico-ambientale degli edifici	
4.6	Criteri e finalità generali della progettazione impiantistica	169
4.7	Tecnologie impiantistiche applicabili	175
4.8	Tecniche per il monitoraggio e controllo delle prestazioni del complesso edifici-impianti	
4.9	Legno e sicurezza elettrica	185
4.10	Analisi del ciclo di vita	

5 SISTEMI INTEGRATI E SOSTENIBILITÀ NEGLI EDIFICI IN LEGNO

5.1	Introduzione	198
5.2	Integrazione tecnologica e sostenibilità del processo edilizio	203
5.3	Progettare per sistemi integrati	204
5.4	Nodi e criticità negli edifici in legno	223
5.5	Finiture interne: materiali a basso impatto ambientale, salubrità e comfort abitativo	228
5.6	Rivestimenti esterni: materiali e soluzioni applicabili	241
5.7	Voci di capitolato per la progettazione di edifici in legno	

6 ASPETTI LEGATI AL MONTAGGIO E ALLA SICUREZZA. AUTOCOSTRUZIONE E EDIFICI SMONTABILI.

6.1	Il montaggio e la sicurezza nel cantiere di un edificio in legno	
6.2	Autocostruzione	258
6.3	Progettazione di edifici smontabili	262

7 CASI STUDIO

7.1	Edifici residenziali mono o bi-familiari	276
7.2	Edifici residenziali multipiano	
7.3	Edifici per l'housing sociale	
7.4	Edifici per l'edilizia scolastica	

Gestione forestale e sostenibilità

1.1 LA SOSTENIBILITÀ NEL SETTORE FORESTALE E DEL LEGNO PER UN'EDILIZIA CERTIFICATA

1.1.1 Introduzione

Nel corso degli ultimi anni è cresciuta enormemente la sensibilità dell'opinione pubblica mondiale verso i temi della salvaguardia ambientale, in tutti i suoi aspetti, e nel contempo sono cresciuti l'interesse e la domanda dei Paesi più sviluppati per l'acquisto di beni e servizi rispondenti a precisi criteri di qualità ambientale e di etica, certificati secondo norme e standard nazionali e internazionali. Tra questi beni, anche le produzioni legnose sono entrate a far parte della schiera dei prodotti per i quali il mercato sempre più spesso richiede una certificazione comprovante la compatibilità ambientale del processo produttivo e l'origine legale e sostenibile della materia prima legno. Sia gli operatori della filiera foresta-legno che i consumatori hanno nel frattempo incrementato la consapevolezza che la commercializzazione di un prodotto non è più la semplice transazione del manufatto, ma comprende una serie di valori che coinvolgono una pluralità di fattori, ad esempio i criteri di produzione, gli impatti ambientali, sociali ed economici del processo produttivo specifico. Il produttore ha visto il proprio ruolo modificarsi rapidamente: le competenze e le funzioni gestionali si sono notevolmente ampliate e ne è cresciuta la complessità. Rispetto al passato, oggi il produttore deve interessarsi:

- al comportamento degli altri operatori con cui interagisce lungo la filiera, compresi gli impatti dei processi produttivi con cui sono stati ottenuti gli input che utilizzerà nel proprio processo produttivo, anche se prodotti in altre aziende;
- al ciclo di vita del suo prodotto, e ai processi di uso e consumo annessi, adottando già in fase di realizzazione dello stesso misure per prevenire usi errati che possano causare danni al consumatore.
- alla gestione degli scarti del prodotto e delle sue componenti, in termini di previsione degli impatti ambientali dei rifiuti che verranno generati al termine della vita del prodotto già in fase di realizzazione dello stesso¹.

Nel mondo occidentale, grazie alla crescita del benessere, alla maggiore disponibilità di tecniche e tecnologie produttive e mediatiche, di rapporti, studi e ricerche da parte di organismi,

¹ Reg. CEE 880/1992, sostituito con il Reg. CE 1980/2000, il quale valuta l'impatto ambientale del prodotto considerando il suo intero ciclo di vita secondo il principio "dalla culla alla tomba", Life Cycle Assessment

Istituzioni e gruppi di interesse nazionali e internazionali, anche i consumatori hanno acquisito un ruolo più attivo sul mercato.

A seconda del livello culturale, della sensibilità morale ed etica, i diversi tipi di consumatore hanno iniziato ad esigere etichette sempre più precise e ad effettuare sempre più accuratamente le scelte d'acquisto non solo in relazione alla utilità specifica del prodotto, ma considerando anche gli aspetti che coinvolgono il ciclo produttivo del bene, i comportamenti assunti dal produttore nell'ambito della direzione dell'impresa, delle sue strategie aziendali ed extra aziendali. Non a caso recentemente è entrato nel linguaggio aziendale anche un nuovo termine, cioè responsabilità sociale d'impresa (o Corporate Social Responsibility, CSR), con cui si intende l'integrazione di preoccupazioni di natura etica all'interno della visione strategica d'impresa: è una manifestazione della volontà delle grandi, piccole e medie imprese di gestire efficacemente le problematiche d'impatto sociale ed etico al loro interno e nelle zone di attività.

Ne consegue che l'atto d'acquisto viene percepito come una manifestazione di consenso verso tutti gli aspetti e valori del prodotto sopra citati. Ecco quindi che il concetto di "qualità" si è ampliato comprendendo, oltre alle caratteristiche proprie del prodotto, anche aspetti legati alla localizzazione, alla struttura e all'organizzazione dell'intera filiera produttiva e dei soggetti coinvolti.

In questo quadro generale si è rafforzato il ruolo della "certificazione" (dal latino: "certum facere", rendere noto, fornire certezza) da strumento prettamente aziendale finalizzato all'adempimento di obblighi amministrativi, la certificazione ha acquistato una valenza di strumento di mercato e di comunicazione tra impresa e consumatore, quale attestazione da parte dell'azienda di comportamenti coerenti con le attese del consumatore.



Figura 1.1: Tronchi da boschi certificati PEFC.

1.1.2 Il quadro della deforestazione mondiale

La globalizzazione dei mercati ha consentito di avere un'offerta più ampia per la stessa tipologia di prodotti: questi provengono da zone e situazioni socioeconomiche estremamente variabili, realizzati con tecniche e tecnologie diverse e di conseguenza hanno un livello qualitativo altrettanto diverso.

Se da un lato ciò ha determinato indubbi effetti positivi sulla dinamica dei prezzi, dall'altro lato ha comportato l'insorgenza di situazioni di sfruttamento insostenibile e/o illegale delle risorse naturali ed umane.

A livello mondiale negli ultimi dieci anni la media annua di ettari di foreste persi (per cause antropiche o naturali) è scesa a 13 milioni, mentre tra il 1990 e il 2000 si era attestata a 16 milioni di ettari persi all'anno (cioè 161 milioni di ettari tra le foreste naturali e seminaturali: il 94% di tale superficie deforestata era rappresentato dalle foreste tropicali, in particolare quelle di Brasile, Congo ed Indonesia). Per avere un termine di paragone, ogni anno è come se sparissero tutte le foreste italiane e austriache messe insieme (o in termini di superficie, come se sparisse una foresta grande come la Grecia).

Nel decennio 2000-2010 è in America del Sud e in Africa che si è registrata la maggiore perdita netta di foreste, rispettivamente con 4 milioni di ettari e con 3,4 milioni di ettari annui. Anche l'Oceania ha subito una perdita netta, in gran parte dovuta alla grave siccità dell'Australia a partire dal 2000. Purtroppo una consistente parte del legname importato in Europa viene da fonti illegali (secondo il WWF, nel 2006 circa un quinto del legname importato nell'Unione Europea nel 2006 proviene da risorse illegali, prevalentemente da Russia, Indonesia e Cina; inoltre quasi l'80% del taglio delle foreste in Amazonia è fuori legge o senza permessi di taglio). Il taglio illegale di legname è un problema di portata internazionale: è la principale causa di deforestazione e dei cambiamenti climatici (il 25% delle emissioni di gas serra è dovuto alla degradazione delle foreste e alla deforestazione), rappresenta spesso una forma di crimine organizzato, spesso collegata ad altre attività criminali che implicano corruzione, violenza e riciclaggio di denaro. Spesso i profitti di queste attività servono a finanziare guerre civili e acquisto d'armi, soprattutto in Africa.

A titolo di riflessione sul ruolo che ricopre la nostra società in questo contesto, si evidenzia che nel 2009 l'Italia è stata il principale importatore di legname d'Europa e il quarto al mondo. Questo dato potrebbe far riflettere anche sull'importanza di aumentare l'approvvigionamento da fonti locali, per le conseguenti ricadute economiche (offerta di lavoro a ditte e maestranze locali; aumento

della gestione e cura del territorio) e ambientali (ridotte emissioni del trasporto; minore impatto sulle risorse primarie tropicali).

1.1.3 Definizione di gestione forestale sostenibile

La definizione corrente di Gestione Forestale Sostenibile (GFS), adottata ad Helsinki nel 1993 dalla Conferenza Ministeriale per la Protezione delle Foreste in Europa, è: “la gestione e l’uso delle foreste e dei terreni forestali nelle forme e ad un tasso di utilizzo che consentono di mantenerne la biodiversità, produttività, capacità di rinnovazione, vitalità e potenzialità di adempiere, ora e nel futuro, a rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale, senza comportare danni ad altri ecosistemi”.

Una visione più attuale della gestione forestale sostenibile è quella che deve saper conciliare equità sociale, rispetto ambientale e sostenibilità economica. Le foreste gestite in maniera sostenibile sono quelle in cui la gestione forestale implementa rigorosi standard quantificabili e verificabili, basati su requisiti ambientali, sociali ed economici internazionalmente riconosciuti, standard che rappresentano i principi fondamentali della sostenibilità. L’applicazione del concetto di GFS dal livello prettamente teorico a quello concretamente operativo sottintende diversi aspetti:

- definizione di obiettivi di politica forestale a diverse scale territoriali;
- monitoraggio dei risultati delle politiche forestali adottate;
- confronto tra obiettivi e risultati sia nell’ambito di un singolo territorio, che tra ambiti territoriali diversi;
- sviluppo di sistemi statistici finalizzati al monitoraggio di variabili strategiche nell’analisi del settore;
- definizione, controllo e rispetto di codici deontologici;
- definizione di criteri di finanziamento etico;
- definizione di disciplinari di produzione e di criteri di GFS a livello aziendale, anche al fine di promuovere dichiarazioni di conformità e certificazioni.

1.1.4 Origine della certificazione di gestione forestale sostenibile

Secondo la definizione data dalla ISO (International Standard Organisation), il certificato è: “una dichiarazione rilasciata da Ente, Istituzione oppure persona qualificata finalizzata ad attestare l’effettiva esistenza e verità di un fatto, di una situazione, di una condizione”, ossia, è “un’attestazione di parte terza circa la conformità di un prodotto, processo o servizio, a standard predefiniti stabiliti per legge, oppure volontariamente accettati (disciplinari oppure standard)”.

L'allarme per la distruzione delle foreste in aree tropicali e la crescita in tutto il mondo del consumo responsabile hanno fortemente stimolato la richiesta di una certificazione forestale, che si è affermata come strumento di mercato ad adesione volontaria, garantendo ai consumatori l'acquisto di prodotti non provenienti da boschi tagliati illegalmente o in maniera irrazionale bensì da aree forestali gestite in maniera sostenibile.

La certificazione, in ambito forestale, può essere definita come: "una procedura prestabilita e riconosciuta che deve essere verificabile per mezzo di un certificato nel quale venga confermata la qualità della gestione forestale rispetto ad una serie di criteri e indicatori predeterminati (quantitativi e qualitativi) in base a una valutazione indipendente e accreditata".



Figura 1.2: Tavole da boschi certificati PEFC.

L'idea dello strumento della certificazione forestale è nato agli inizi degli anni '90 grazie alla volontà manifestata da alcune organizzazioni ambientaliste (Amici della Terra, Greenpeace, WWF) di promuovere uno schema internazionale di etichettatura del legno tropicale, al fine di premiare la produzione e il commercio di legname prodotto in maniera "sostenibile". Solo successivamente questo strumento si è affermato come strumento di mercato, ad adesione volontaria, soprattutto nelle zone temperate, Europa e Nord America.

1.1.5 I due schemi di certificazione: di "gestione forestale" e di "catena di custodia"

La certificazione forestale deve essere concettualmente divisa in due diversi schemi: un primo tipo di certificazione, la certificazione della gestione forestale sostenibile, riguarda il fatto che una proprietà forestale venga gestita secondo criteri di sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Il legname o la fibra che ne deriva viene marchiato ed è quindi commerciabile come proveniente da boschi

gestiti in modo sostenibile. Il legname e la cellulosa proveniente da foreste o piantagioni certificate per la corretta gestione forestale, poi, deve poter rimanere rintracciabile nelle varie fasi delle successive lavorazioni, sino al prodotto finito.



Figura 1.3: Marchio PEFC - per foreste gestite in maniera sostenibile, tronchi di foresta certificata nei pressi di Bolzano.

1.1.6 Diffusione della Certificazione forestale nel mondo e in Italia

Al 20 agosto 2010 si contava una superficie totale di foreste certificate di 359 milioni di ettari (ha), poco più del 10% della copertura forestale globale terrestre (le foreste coprono circa 3.454 milioni di ha, il 26% della superficie terrestre). Attualmente lo schema di certificazione forestale più diffuso sul mercato mondiale, è il PEFC con 223 milioni di ha di foreste certificate (il 62% del totale), seguito da FSC con 136 milioni di ettari (38%).

In Italia sono certificate 811.056 ettari di foresta, corrispondenti al 9,26% sulla superficie totale a bosco (8.759.200 ettari); 744.538 ettari con lo schema PEFC e 66.518 ettari con lo schema FSC.

La certificazione forestale ha trovato più facile applicazione in contesti socio-geografici, come ad esempio in Europa e in Nord America, dove la cultura della gestione forestale può vantare una lunga tradizione e la superficie forestale è in espansione. Questo spiega il dato dell'UNECE/FAO che riporta che a fine 2008 il 25% del legname industriale circolante nel mondo (cioè 387 milioni di metri cubi) proveniva da foreste certificate, con una prospettiva di raddoppiare al 2020. Il maggior interesse alla certificazione forestale lo hanno manifestato i Paesi importatori di legname e con gruppi ambientalisti molto attivi, in grado di esercitare pressioni a livello politico e sull'opinione pubblica, come per esempio Francia, Gran Bretagna, Germania e Olanda, che hanno preceduto molti altri Stati nello stilare

una propria politica per l'acquisto di beni cosiddetti "verdi", cioè il Green Public Procurement (GPP).

E' opportuno segnalare che il Parlamento Europeo, in una risoluzione approvata il 16 febbraio 2006, ha formalizzato la dichiarazione che i sistemi di certificazione PEFC e FSC sono considerati equivalenti "a fornire garanzia al consumatore che i prodotti certificati a base di legno derivino da gestione forestale sostenibile che tenga conto del ruolo multifunzionale delle foreste".

1.1.7 Conclusioni

Affinché un prodotto di origine forestale, o un'opera realizzata in legno, siano realmente rispettose nei confronti dell'ambiente, ci deve essere la garanzia che il legno provenga da foreste gestite in modo responsabile; la certificazione forestale è l'unico strumento che fornisce garanzia sulla gestione sostenibile delle foreste e sulla tracciabilità dal taglio del bosco al prodotto finito. La certificazione forestale rappresenta anche un impegno per la promozione di una gestione oculata e corretta dei boschi e per le imprese private un utile strumento di marketing, un'opportunità di ufficializzare l'impegno imprenditoriale verso l'ambiente. Vale la pena evidenziare che se il prodotto è locale, la certificazione permette di promuovere e valorizzare anche il proprio territorio e l'economia locale. Non a caso è uno dei principali mezzi attualmente a disposizione per aziende ed organizzazioni che vogliano applicare completamente la propria responsabilità sociale d'impresa.

La recente promulgazione di politiche di acquisti pubblici verdi (GPP - Green Public Procurement) da parte di tanti Stati, compreso l'Italia, valorizza ancora di più questo importante strumento di promozione delle pratiche forestali sostenibili e delle attività imprenditoriali sensibili alle tematiche ambientali. L'uso di legno certificato per la sua origine legale e sostenibile, infine, è un segno di sensibilità e di modernità che ogni progettista e costruttore può facilmente implementare nel settore dell'edilizia e dell'architettura, rendendo fattivo il proprio impegno verso l'ambiente, con una scelta cosciente e responsabile che avrà implicazioni positive sia a livello locale che a livello globale.

1.2 La realtà forestale italiana

1.2.1 Introduzione

Da sempre i boschi europei sono fortemente antropizzati e condizionati dalla presenza dell'uomo. E' difficile rendersi conto di come l'aspetto di un bosco oggi non sia solamente il frutto dell'attuale amministrazione, ma derivi dal susseguirsi di epoche in cui si sono alternati eventi climatici, storici ed economico-politici. Diverse esigenze sociali, logiche gestionali, ma anche diversi metodi colturali ne hanno condizionato lo sviluppo in ogni direzione, non solo in termini estensivi ma anche in termini qualitativi e specifici (composizione specifica).

In quest'ottica, contrariamente a quanto potremmo pensare, in Europa stiamo vivendo un periodo di forte e graduale espansione delle superfici forestali, iniziato intorno alla fine degli anni '40 del secolo scorso, sicuramente non attribuibile solamente all'attuazione di piani di rimboschimento, ma anche ad una progressiva colonizzazione forestale naturale delle aree agricole abbandonate. Il secolo scorso infatti è stato caratterizzato dall'evoluzione di un'economia basata sul rapido sviluppo industriale che ha portato all'abbandono dell'agricoltura tradizionale a favore di coltivazioni di tipo estensivo e di una forte meccanizzazione. La difficoltà di reggere un mercato che sempre più prevedeva grandi investimenti e grandi estensioni di territorio pianeggiante, ha portato ad un progressivo abbandono delle aree montane e quindi ad un progressiva ricolonizzazione delle superfici agro-pastorali abbandonate. Possiamo notare quindi come dagli inizi del secolo scorso la superficie boschiva sia triplicata, ma è negli ultimi cinquant'anni che si registra l'incremento maggiore con una superficie addirittura raddoppiata. Inevitabile, di pari passo all'abbandono dell'agricoltura tradizionale, lo sviluppo di nuove concezioni e funzioni del bosco e quindi lo sviluppo di nuove politiche di gestione territoriale.

1.2.2 Il monitoraggio

Il monitoraggio di una situazione in continua evoluzione come quella dei nostri boschi, presenta una serie di difficoltà legate non solo a problemi oggettivi di acquisizione ed elaborazione dei dati, ma anche, e soprattutto, di interfacciabilità delle diverse fonti che in Italia sono costituite dagli Inventari Forestali Nazionali, dai Censimenti Generali dell'Agricoltura dell'ISTAT e da una serie di altre fonti ufficiali (UNECE, FAO ed EUROSTAT) che attingono però ai dati delle prime due fonti.

Gli inventari forestali "sono indagini realizzate allo scopo di conoscere l'entità e la qualità delle risorse forestali di una nazione o di una

regione in un certo momento: la superficie forestale e le superfici dei vari tipi di bosco, lo stato di salute, la biomassa e la quantità di carbonio immagazzinato, i ritmi di crescita, le capacità produttive ecc. sono tra i principali risultati di ogni indagine inventariale. Gli indirizzi più recenti in ambito inventariale vanno nella direzione di un monitoraggio continuo delle risorse forestali, promuovendo l'inventario come strumento di raccolta delle informazioni ad intervalli prestabiliti e costanti, al fine di verificare la sostenibilità dell'uso delle risorse forestali." Il primo inventario è stato realizzato tra il 1983 ed il 1985 con la denominazione IFNI – Inventario Forestale Nazionale Italiano. Già nella diversa denominazione del secondo inventario, INFC – Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio -, realizzato nel 2004, a distanza di venti anni dal primo, si intravede una differenza sostanziale negli obiettivi: l'aggiunta del carbonio come fattore di monitoraggio evidenzia come al bosco vengano oggi riconosciute una molteplicità di funzioni che vanno ben oltre gli usuali aspetti produttivo, ricreativo e di mantenimento dell'assetto idro-geologico fino ad oggi prese in considerazione, ma anche un ruolo importantissimo nella regolazione globale del ciclo del carbonio. E' importante evidenziare che questo aspetto si traduce necessariamente in sostanziali differenze già a partire dalle definizioni dell'universo di riferimento: per eseguire un rilievo infatti è necessario definire le categorie e le sottocategorie di riferimento, individuandone i limiti all'interno dei quali far ricadere le diverse tipologie forestali. A titolo di esempio, nel primo inventario la soglia di copertura minima rilevabile per poter definire un bosco era del 20% con un'estensione minima di m² 2000. Ciò significa che tutte le aree silvane al di sotto di questa soglia venivano ritenute non rilevanti, se rapportate agli obiettivi ed ai criteri scelti in partenza. Nel secondo inventario la soglia passa ad una copertura minima del 10% ed un'estensione di m² 1000: E' evidente che queste nuove superfici, escluse nel corso del primo inventario, poco significano in termini produttivi, ma assumono ben altro significato se pensate come serbatoio di fissazione temporanea del carbonio, aspetto del tutto assente nel primo inventario.

I censimenti Nazionali dell'agricoltura promossi periodicamente dall'ISTAT, (il 6° censimento è iniziato nell'ottobre del 2010) consistono in un'analisi della realtà agricola italiana, passando anche attraverso il coinvolgimento diretto delle aziende, sia private che pubbliche, mediante interviste rivolte agli organi gestori. "I principali obiettivi della rilevazione consistono nel:

1. Fornire un quadro informativo statistico sulla struttura del sistema agricolo e zootecnico a livello nazionale, regionale e locale;

2. Consentire l'aggiornamento e la validazione del registro statistico delle aziende agricole, realizzato dall'ISTAT mediante l'integrazione di dati di fonte amministrativa;
3. Assolvere agli obblighi di rilevazione stabiliti dal Regolamento (CE) n. 1166/2008 del Parlamento Europeo e del Consiglio 19/11/2008, relativamente alle indagini sulla struttura delle aziende agricole e sui metodi di produzione, nonché il Regolamento (CEE) n. 357/79 del Consiglio del 05/02/1979 e successive modificazioni, relativamente alle indagini statistiche sulle superfici viticole.

I dati raccolti offrono quindi un quadro informativo sulla struttura del sistema agricolo e zootecnico, a livello nazionale, regionale e locale.

A differenza dei Censimenti precedenti, in cui sono state censite le aziende di qualsiasi dimensione, per il 2010 l'Unione Europea chiede di rilevare soltanto le aziende i cui terreni si estendano al di sopra di una dimensione che, in Italia, varia da Regione a Regione."

Per ciò che riguarda l'aspetto forestale, i censimenti si rifanno ad un universo di riferimento molto diverso rispetto a quello degli inventari, poiché considerano esclusivamente le aziende per le quali, in fase di rilevamento, sia stato identificato un conduttore, sia esso pubblico che privato.

E' evidente quindi come dalla differenza nell'approccio, nelle finalità, nelle definizioni delle categorie adottate dalle diverse fonti derivino inevitabilmente apparenti differenze ed incongruenze nei risultati che rendono difficoltoso, il confronto, spesso anche all'interno stessa fonte.

1.2.2 La situazione forestale

In base al primo inventario, la superficie forestale nazionale era rappresentata da circa 6,7 milioni di ettari ad alta densità (cioè con una copertura minima superiore al 20%), a cui si sommavano 2,1 milioni di ettari di superfici interessate da formazioni a bassa densità o derivate da una ricolonizzazione di aree abbandonate dall'agricoltura o da degradamento di aree forestali. Le superfici passano a 8,7 milioni di ettari di bosco ad alta densità (ricordiamo che nel secondo inventario il limite della categoria si abbassa a 10% di copertura minima) a cui si sommano 1,7 milioni di ettari di "altre formazioni forestali", formazioni cioè sempre di tipo forestale, ma che, per le loro caratteristiche strutturali, non possono essere assimilate ad un bosco. Dal confronto dei dati appare evidente l'incremento in valore assoluto del bosco, ma anche la diminuzione delle "altre formazioni forestali". Ciò in parte è imputabile alla diversa percentuale di copertura che definisce la categoria, ma anche al progressivo accrescimento delle formazioni boschive derivate dalla ricolonizzazione dei terreni

abbandonati dall'agricoltura che, nel corso del primo inventario, non potevano ancora essere definite bosco. E' possibile stimare quindi che la superficie forestale nazionale ad alta densità di copertura sia attualmente compresa tra gli 8 e i 9 milioni di ettari, a cui vanno sommati circa 2 milioni di ettari di altre superfici forestali, per un totale di circa 10 milioni di ettari. Considerando che la superficie totale del territorio nazionale è di poco superiore ai 30 milioni di ettari, circa un terzo della superficie italiana risulta coperta da formazioni forestali, con un coefficiente di boscosità passato dal 28,5 % del primo inventario al 34,7% del secondo, per un incremento del 6,2% in un ventennio.

Il confronto esatto dei dati, come già visto, è di per sé difficoltoso e la laboriosità aumenta quando si prendono in considerazione intervalli temporali più ampi, comprendendo anche quei periodi nei quali gli inventari venivano svolti senza un reale coordinamento nazionale, da cui emergono dati frammentari, relativi a realtà territoriali limitate. Nonostante ciò è possibile affermare che il territorio nazionale occupato da foreste è triplicato rispetto al primo ventennio del '900, ma anche che è dal dopoguerra in poi, parallelamente cioè ad una progressiva industrializzazione e quindi alla ricolonizzazione delle aree agro-pastorali abbandonate, che si assiste al forte incremento delle formazioni boschive, con il raddoppiamento della superficie forestale. Se da un lato questa tendenza risulta sicuramente positiva, in relazione alle funzioni svolte dal bosco come serbatoio forestale di Carbonio e regolatore della stabilità idrogeologica, dal punto di vista produttivo è necessario fare alcune considerazioni relativamente alle reali capacità produttive di queste superfici, al tipo di prodotto che sono in grado di fornire e se le infrastrutture presenti garantiscono la possibilità di utilizzare in maniera sostenibile le potenzialità dei boschi. Da quanto emerge dall'inventario forestale nazionale le regioni più densamente boscate sono, in ordine decrescente, la Liguria, il Trentino, la Sardegna, l'Alto Adige e la Toscana, mentre le meno boscate la Sicilia e la Puglia, con una predominanza generale dei popolamenti a prevalenza di latifoglie, fatta eccezione per alcuni contesti alpini. Le superfici potenzialmente utilizzabili rappresentano circa l'81,3% della superficie totale, con i minimi in Friuli ed in Valle d'Aosta ed i massimi in Umbria e nelle Marche. Questa potenzialità, limitata in alcuni casi dalla presenza di aree protette, dalle funzioni protettive nei confronti delle pendici o dell'assetto idro-geologico e, più in generale, da tutte quelle funzioni di tipo protettivo del bosco che ne limitano od impediscono l'utilizzazione (con il termine utilizzazione in ambito forestale s'intende il taglio a scopo produttivo), è in realtà un dato oggettivo se messa in rapporto alla presenza di infrastrutture che ne consentano l'impiego: l'inventario forestale riferisce che circa il

77,4% dei boschi nazionali è servito da strade ad una distanza inferiore di 500 metri e dislivelli inferiori ai 100 metri (tali distanze e dislivelli massimi sono ritenuti idonei a garantire l'allestimento di un'adeguata rete di piste temporanee necessarie alle operazioni di esbosco). Se però consideriamo solamente i boschi di altezza minima pari a 5 metri, definiti dall'inventario forestale come "alti", le formazioni ad altofusto², quelle in grado cioè di fornire topi da sega, rappresentano il 36,1% dei boschi con una superficie di circa 3,1 milioni di ettari ed una leggera prevalenza delle formazioni coetanee e coetaneiformi rispetto alle disetanee. I boschi governati a ceduo, dedicati cioè alla produzione di legna da ardere e paleria, rappresentano invece il 41,8% dei boschi italiani. Si tratta nella maggior parte dei casi di cedui semplici matricinati³, un tipo di trattamento molto diffuso, di più semplice ed economica gestione rispetto ad altre forme oggi meno utilizzate. Le regioni che presentano una prevalenza di ceduo rispetto all'altofusto sono l'Umbria, l'Emilia Romagna, la Toscana ed il Lazio, con oltre il 75% delle superfici boscate.

1.2.3 Gli aspetti gestionali-amministrativi

Un'ulteriore problematica alla sostenibilità dell'utilizzazione del bosco è costituito dal frazionamento delle proprietà. La superficie nazionale, ad eccezione di un 33,5 % della superficie del bosco, di proprietà pubblica, il restante 66,2% (uno 0,3 % della superficie non è classificabile per il carattere della proprietà) è di proprietà privata, generalmente suddivisa tra piccole proprietà che non riescono a raggiungere un'estensione tale da rendere economicamente vantaggiosa l'utilizzazione....

2 Il bosco può essere governato in due modi distinti: a fustaia o a ceduo. La differenza fondamentale tra i due tipi di bosco risiede nella differente propagazione, di origine gamica nel primo tipo di governo, cioè tramite disseminazione e quindi generazione di nuove piante, e di origine agamica nel secondo, cioè tramite il taglio dei fusti e generazione di nuovi fusti sui vecchi apparati radicali. Le differenze risiedono nella diversa velocità di accrescimento (il ceduo è più veloce dato che può contare su un apparato radicale già formato) e dal tipo di prodotto; In una fustaia infatti, ad ogni apparato radicale corrisponde un solo fusto, è perciò in grado di "produrre" topi adatti alla sega, nel ceduo invece ad ogni apparato radicale corrispondono numerosi fusti, che generalmente sono destinati alla produzione di legna da ardere, carbone e paleria di diverso genere. Caso a parte è costituito dal ceduo composto, in cui su una stessa superficie coesistono sia la fustaia, sia il ceduo.

3 La matricinatura consiste nel rilascio di una certa percentuale di matricine. La matricina è un pollone (fusto che vegeta su uno stesso apparato radicale, o meglio su una stessa ceppaia) che viene rilasciato (cioè risparmiato dal taglio) per un turno, in modo tale da garantire, mantenendo un certo grado di copertura, una certa protezione del terreno nei confronti dell'irraggiamento solare ed al contempo da produrre seme per una naturale rinnovazione del bosco.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Di Bérenger A. (1863), Dall'antica storia e giurisprudenza forestale in Italia, Longo; Venezia.
- [2] Cfr. Dionigi di Alicarnasso, III 45, "Sylvas ad usum navium publicavit.
- [3] Muzzi Salvatore (1975), Il servizio forestale attraverso i secoli.
- [4] Pettenella Davide (2009), Le nuove sfide per il settore forestale, Edizioni Tellus
- [5] Piussi Pietro (1994), Selvicoltura Generale, UTET.
- [6] INFC Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio – sito del Corpo Forestale dello Stato:
- [7] <http://www.sian.it/inventarioforestale>
- [8] 6° Censimento Generale dell'Agricoltura Anno 2010 – sito della Regione Toscana: www.regione.toscana.it/censimentoagricoltura2010

Legno strutturale e materiali a base di legno

2.1 Incollaggi strutturali: caratteristiche tecniche e tossicità

2.1.1 Introduzione

Una delle definizioni più appropriate di adesivo è quella riportata dal ASTM (*American Society for Testing and Materials*) che lo definisce come “un prodotto capace di tenere insieme i materiali per giunzione superficiale; di generare cioè fenomeni di adesione” (cit. G. Giordano). Appare chiaro che tale definizione può assumere significati diversi in relazione al campo applicativo, ma nel settore tecnologico l’adesione la si intende riferita all’interazione che si viene a stabilire tra una superficie solida ed un’altra che può essere allo stato solido o liquido. La metodologia con cui si realizza un’adesione di questa natura tra due superfici si definisce incollaggio. Prima di addentrarsi nell’analisi dei diversi tipi d’incollaggio, è però necessario compiere un passo indietro per ricordare come la materia sia composta da atomi uguali o diversi tra loro, uniti da legami chimici diversi ed in combinazione diversa a formare molecole diverse. E’ evidente che questi legami costituiscono delle vere e proprie forze che permettono la coesione tra atomi e che quindi, in base alla diversificazione dei legami, ogni molecola ha un suo contenuto energetico di fondamentale importanza nell’ambito della preparazione delle sostanze, dei materiali o addirittura nelle lavorazioni di trasformazione dei materiali. A loro volta le molecole si combinano assieme grazie a ulteriori legami di tipo secondario, costituiti cioè da legami a ponte di idrogeno e forze di van der Waals, che contribuiscono a conferire le proprietà fisico-meccaniche della materia. Tali legami sono di natura elettrica, a volte con struttura asimmetrica (molecole polari) altre con struttura simmetrica. Ciò detto, appare evidente che l’adesione tra una superficie solida e l’adesivo può essere ricondotto ad un fenomeno di attrazione molecolare. Lo scopo di un incollaggio strutturale è quello di unire due corpi lignei in modo tale da renderli un unico elemento strutturale. Il suo compito è quello di riempire gli spazi vuoti, ricostituire la continuità tra gli elementi mettendo a disposizione legami di coesione, garantire una resistenza almeno pari a quella del legno incollato ed una durabilità compatibile a quella della classe d’esercizio per cui viene realizzato il prodotto finale.

L’applicazione di un adesivo strutturale avviene sempre in forma liquida, inumidendo una o entrambe le superfici da incollare, in funzione del tipo di adesivo e del tipo d’impianto di produzione. La seconda fase, quella dell’indurimento, nel caso di incollaggi di tipo strutturale può avvenire in due modi distinti:

1. attraverso la combinazione di due fasi: l'evaporazione di un solvente e la reazione chimica, come avviene negli adesivi ureici, fenolici, melamminici e resorcinici;
2. attraverso un processo chimico in cui si assiste ad una polimerizzazione del collante mediante la formazione di legami primari tra le molecole (colle epossidiche e poliuretaniche).

2.1.2 Classificazione degli adesivi

Con tali presupposti è chiaro che una classificazione dei collanti non è univoca, ma può adottare criteri diversi. Per praticità la classificazione più adottata è quella riferita al metodo di applicazione, distinguendo quattro gruppi:

- In soluzione o in dispersione
- a caldo
- a pressione
- a indurimento per reazione chimica.

Il criterio più corretto in realtà sarebbe forse quello di riferirsi alla composizione chimica del collante, o meglio al costituente principale cosa che generalmente avviene nell'ambito degli adesivi ritenuti idonei all'uso strutturale.

A livello di normativa si riscontrano attualmente solamente due normative, la UNI EN 301:2006 "Adesivi fenolici e amminoplastici per strutture portanti di legno. Classificazione e requisiti prestazionali" e la più recente UNI EN 15425:2008 "Poliuretani monocomponenti per strutture portanti di legno. Classificazione e requisiti prestazionali". In realtà, anche per ciò che concerne gli adesivi alla caseina esiste la norma UNI EN 12436:2002 "Adesivi per strutture portanti in legno – Adesivi caseifici – Classificazione e requisiti" ma queste colle di origine organica (il costituente principale è una proteina del latte) sono poco resistenti all'acqua e molto sensibili all'attacco di funghi dai quali devono essere protetti con un fungicida idoneo. Per tali motivi non soddisfano i requisiti dettati dalla Norma UNI EN 301:2006.

Alla UNI EN 301 corrisponde la norma di prova UNI EN 302:2005/6 "Adesivi per le strutture portanti in legno – Metodo di prova parti 1.2.3.4.5.6.7. Queste norme si riferiscono solamente agli adesivi di tipo fenolico e amminoplastico che vengono classificati come:

1. Adesivi di tipo 1: che sopportano un'esposizione continua e prolungata a temperature superiori ai 50°C e agli agenti meteorici;

2. Adesivi di tipo 2: che tollerano un'esposizione breve a temperature superiori a 50°C e agli agenti meteorici.

E' da notare che l'Eurocodice 5 ammette solamente l'impiego di adesivi conformi a quanto prescritto dalla UNI EN 301. Per tutti gli altri adesivi è necessario rifarsi alle indicazioni contenute all'interno delle rispettive norme nazionali.

2.1.2 Adesivi attualmente impiegati

2.1.2.1 Adesivi urea-formaldeidici (UF)

Il gruppo urea-formaldeide comprende una serie di adesivi molto versatili che possono essere commercializzati sia in polvere che in forma liquida, si induriscono a tutte le temperature, purché superiori a 10°C e la velocità di indurimento può essere facilmente modificata in base alle esigenze del processo produttivo. Solamente alcuni speciali adesivi ureo-formaldeidici a freddo sono considerati idonei all'uso strutturale. Il loro limite risiede nella scarsa durabilità nei confronti dell'acqua e del calore e nella sensibilità verso le alte temperature raggiungibili in caso d'incendio che tendono a delaminarli. Sono adesivi che necessitano di una carica inerte come riempitivo, in assenza della quale tendono a fratturarsi.

La norma UNI EN 301 li classifica tra gli adesivi di tipo 2 e vengono impiegati per la produzione di legno lamellare e per finger joint destinati ad un impiego all'interno.

L'adesivo è idoneo all'indurimento mediante radiofrequenza.

Le linee di colla si presentano con una colorazione chiara.

2.1.2.2 Adesivi fenolo-formaldeidici (PF)

Sono adesivi molto alcalini forniti sia in forma liquida, sia in polvere, ma anche sotto forma di pellicola. Si possono avere adesivi fenolo-formaldeidici con indurimento a caldo o a freddo. Nei primi l'indurimento avviene mediante l'esposizione a temperature comprese tra i 110° e i 140°C. e, solo per taluni prodotti, combinando l'azione della temperatura ad un indurente a base di formaldeide. Gli adesivi fenolo-formaldeidici a freddo l'indurimento deve invece avvenire necessariamente in ambiente acido: viene disciolto l'adesivo in soluzione alcolica e successivamente indurito mediante l'aggiunta di un acido forte. E' importante ricordare che in corrispondenza della linea di colla le superfici lignee possono essere danneggiate dalla presenza dell'acido.

Questa categoria di adesivi è completamente resistente all'acqua, anche salmastra, alla bollitura, all'esposizione agli agenti meteorici ed, esposti alle alte temperature di un incendio non tendono a delaminarsi.

Gli adesivi PF con indurimento a caldo, pur essendo utilizzati nella produzione di pannelli compensati per uso marino, non sono conformi alle indicazioni della UNI EN 301. Discorso a parte va fatto per gli adesivi PF con indurimento a freddo: pur rientrando nei criteri di conformità della UNI EN 301 è stato verificato che alcuni elementi strutturali realizzati in passato con questo tipo di adesivo, a distanza di molti anni dalla messa in opera, sono collassati. In realtà non si conosce bene la motivazione, ma si ritiene ragionevolmente che la causa sia da ricercare nel danno prodotto dagli effetti dell'acido sul legno in corrispondenza dell'interfaccia adesivo-legno, con conseguente perdita di adesione tra gli elementi.

2.1.2.3 Adesivi melammina-urea-formaldeidici (MUF)

Gli adesivi MUF derivano chimicamente dagli adesivi UF, nei quali viene sostituita una certa percentuale di urea con una equivalente di melammina, allo scopo di rendere l'adesivo più durabile nei confronti dell'umidità ambientale e, più in generale, degli agenti meteorici. Sono commercializzati per incollaggi a freddo, più resistenti all'acqua, utilizzati in combinazione con adesivi a caldo per la produzione di lamellari incollati e finger-Joint e per incollaggi a caldo mediante pressatura per la produzione di compensati. Solamente gli adesivi utilizzabili a freddo sono conformi ai requisiti della UNI EN 301 rientrando generalmente nella tipologia 2.

2.1.2.4 Adesivi (fenolo)-resorcinolo-formaldeidici (Prf-Rf)

Adesivi adatti a incollaggi molto forti, duraturi, resistenti all'acqua, anche salmastra, alla bollitura ed agli agenti meteorici, sono costituiti da due componenti, il resorcinolo e la formaldeide. L'indurente può contenere cariche che conferiscono il carattere "riempitivo" all'adesivo. Parte del resorcinolo, visto l'elevato costo, viene generalmente sostituito con fenoli di minor costo (adesivi fenolo-resorcinolo-formaldeidici). Le linee di incollaggio si presentano molto scure, di spessore compreso tra mm1 e mm2 (solo per gli adesivi caricati) ed il prodotto bene si adatta ad indurimento con radiofrequenza. Carattere da non sottovalutare è la mancanza di emissioni di formaldeide o di altre sostanze una volta avvenuta la reazione e la conformità ai requisiti previsti dalla UNI EN 301.

2.1.2.5 Adesivi Poliuretani (Pu) monocomponenti

L'adesivo sfrutta la capacità del componente reattivo (isocianato) di reagire inizialmente con l'umidità del legno per formare, dopo una breve sequenza di reazioni, in una resina poliuretanica. Il processo reattivo sviluppa anidride carbonica che si traduce nella caratteristico aspetto schiumoso in corrispondenza della linea d'incollaggio. Hanno

una buona resistenza ed una buona durabilità, ma non per tutti è ancora certa la durabilità agli agenti meteorici.

2.1.2.6 Adesivi Poliuretani (Pu) bicomponenti

La natura dell'adesivo è simile a quella del monocomponente, ma in questo caso il componente reattivo (isocianato) non reagisce con l'umidità del legno, ma necessita di un secondo componente (alcol). Le proprietà di resistenza e durabilità sono del tutto simili a quelle degli adesivi Pu monocomponenti. I vantaggi dell'impiego risiedono nello stoccaggio, più lungo senza che il prodotto rischi di alterarsi, e nella facilità di manutenzione e gestione dell'impianto.

2.1.2.7 Adesivi epossidici

Si tratta di adesivi a due componenti formati da una resina epossidica ed un indurente costituito generalmente da ammine. La caratteristica è quella di avere un'ottima resistenza e generale, ma ancora poco si conosce del loro comportamento nel tempo e nei confronti degli agenti meteorici. Sono adesivi che necessitano di un tempo di reticolazione ed un successivo tempo di maturazione che varia in funzione del tipo di prodotto, delle condizioni ambientali e del quantitativo utilizzato per l'incollaggio. Sono molto riempitivi e, in misura contenuta (attenzione alle indicazioni del produttore), caricabili per modificarne leggermente la viscosità e la colorazione. Il metodo di produzione delle resine è tale da poter confezionare tipologie di resina specifica per all'incollaggio di materiali diversi. Nel settore del legno le resine epossidiche si adattano all'incollaggio di legno con legno, metallo, plastiche, fibre di carbonio, vetroresina ecc. In passato è stato utilizzato come "betoncino" per il consolidamento di parti degradate di strutture lignee, oggi si preferisce impiegarlo solamente come adesivo per evitare problemi di incompatibilità fra grandi quantitativi di materiali diversi (le resine epossidiche sono molto stabili e rigide) e di ebollizione durante la reticolazione (la reazione tra componenti sviluppa alte temperature che, se utilizzati grandi volumi di prodotto, possono mandare in ebollizione la resina stessa con sviluppo di bolle che comprometterebbero l'incollaggio).

Generalmente sono adesivi dall'alto costo utilizzati nel settore strutturale per le riparazioni ed i consolidamenti in opera di parti lignee degradate o per l'incollaggio di elementi di diversa natura "(metallo, plastica, ...).

2.1.3 Tossicità degli adesivi

Il problema della tossicità dei prodotti è una questione sentita da anni ma che solamente da alcuni decenni influenza tutto il mercato. In particolare, nel settore degli adesivi per il legno ci si riferisce principalmente agli effetti legati all'emissione di formaldeide, sostanza

considerata pericolosa per gli effetti indotti sull'apparato respiratorio sia a breve, sia a lungo termine.

E' una sostanza chimicamente molto semplice, la più semplice delle aldeidi, con formula chimica CH_2O , e in soluzione acquosa al 37% è commercializzata con il nome di formalina. Molto solubile in acqua, si presenta come un gas con punto di ebollizione a -21°C .

Grazie alla sua forte reattività chimica, alla sua azione biocida, al costo relativamente basso e alla facilità d'impiego trova impiego in molti settori produttivi dell'industria, in particolare nel settore del legno costituisce la molecola di partenza per la produzione di adesivi ureici, fenolici, melamminici e resorcinolici.

E' una sostanza molto volatile, classificata come sostanza sospetta di cancerogenicità, che manifesta la sua pericolosità soprattutto a carico delle vie respiratorie, dove si manifesta con effetti irritanti ormai noti, indotti anche da basse concentrazioni nell'ambiente ($0,01\text{mg}/\text{cm}^3$. cit.: Franco Bulian).

Il processo di volatilizzazione dovuto ad idrolisi, nella maggior parte dei casi, non si ferma con l'indurimento dell'adesivo, ma si protrae a lungo rilasciando nell'ambiente quantità di formaldeide spesso superiori ai limiti accettabili.

La regolamentazione dell'impiego della formaldeide, fino al 2008, era limitato alla circolare n:57 del ministero della Sanità, pubblicato nel 1983 che riportava relativamente ai "rischi connessi alle possibili modalità d'impiego". Con decreto del ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali del 10 ottobre 2008, pubblicato su G.U. del 10 dicembre 2008, si stabiliscono alcune disposizioni legate alla produzione, l'importazione ed il commercio di pannelli e manufatti prodotti mediante l'impiego di formaldeide, basato sul principio che "...ai fabbricanti ed agli importatori spetta l'obbligo di immettere sul mercato e/o utilizzare sostanze che non arrechino danno alla salute umana". L'articolo 2 del decreto stabilisce che non possono essere immessi nel mercato pannelli a base di legno o manufatti con concentrazioni di equilibrio di formaldeide superiori a $0,124\text{ mg}/\text{m}^3$, pari a 0,1 ppm. Tali concentrazioni vanno misurate con una serie di prove imposte ed indicate dall'art. 3 dello stesso decreto. Due sono i tipi di controllo imposti dal decreto:

1. determinazione del rilascio di formaldeide con il metodo di camera (Norma UNI EN 717-1:2004) o con il metodo dell'analisi dei gas (Norma UNI EN 717-2:2004)
2. controlli di produzione con metodo indicato dalla norma UNI EN 717-2:2004 e con metodo di estrazione detto metodo perforatore (Norma UNI EN 120:1995).

I produttori quindi effettuano i controlli di produzione previsti ed eseguono ogni anno una prova per testare l'affidabilità e la ripetibilità

del loro processo produttivo. A questo scopo è previsto il prelievo di un campione per tipologia di prodotto su cui si eseguono tre prove in laboratorio interno od esterno e tre prove presso un laboratorio certificato presso il Ministero del lavoro della salute e delle politiche sociali, o accreditato secondo la norma UNI EN ISO/IEC 17025:2005. E' necessario ricordare che un pannello dichiarato conforme deve essere accompagnato da una dichiarazione di conformità ai valori limite sanciti dal decreto (all. 1)

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] G. Giordano (1981) Tecnologia del legno. UTET
- [2] AA.VV (2003). Il Manuale del legno strutturale. Mancosu editore
- [3] Franco Bulian. Il problema formaldeide nel settore legno-arredo
- [4] D.M.10/10/2008. Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno. G.U. 10/12/2008

Comportamento strutturale, criteri di progettazione, riferimenti normativi

3.1 IL QUADRO NORMATIVO: NTC E EUROCODICI

3.1.1 Finalmente una normativa italiana

Il mondo delle costruzioni in Italia, e in particolare il settore delle costruzioni in legno, ha vissuto negli ultimi anni un periodo piuttosto travagliato per quel che riguarda il quadro normativo applicabile, con un susseguirsi di Ordinanze, Norme, Circolari Ministeriali, periodi di sovrapposizione con le norme previgenti, che hanno spesso ingenerato disorientamento e confusione fra tecnici e progettisti.

Come talvolta accade nel nostro Paese, un evento traumatico come il sisma occorso all'Aquila il 6 Aprile del 2009 (era stato un altro tragico evento sismico, quello verificatosi a San Giuliano di Puglia nell'Ottobre del 2002, a far partire questo lungo e tormentato periodo di aggiornamento delle norme in vigore), ha accelerato i tempi per un chiarimento definitivo e 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.

Per il settore delle costruzioni in legno questa affermazione ha rappresentato una novità particolarmente significativa. Infatti finalmente la lunga battaglia per avere una norma italiana per le costruzioni in legno (che aveva già visto nel 2005 un primo "parziale" successo con l'introduzione nell'OPCM 3431 di aggiornamento della 3274 del 2003 di un capitolo sulla progettazione delle costruzioni di legno in zona sismica, e sempre nel 2005, la comparsa a pieno titolo delle costruzioni in legno nella prima versione delle Norme Tecniche, aggiornate poi nel 2008) ha visto la sua felice conclusione con l'inserimento all'interno delle stesse Norme Tecniche per le Costruzioni di ben tre 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".

Se da un lato tutto ciò ha rappresentato un importante successo per tutto il settore delle costruzioni in legno in Italia (dove, almeno fino al 2005, per progettare una costruzione di legno occorreva far riferimento a "norme di comprovata validità", ossia norme di paesi che hanno una lunga e comprovata esperienza nella progettazione e

realizzazione di strutture in legno secondo sentenze espresse più volte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), dall'altro l'entusiasmo è mitigato dalla constatazione che, a differenza di quanto accade per gli altri materiali da costruzione, per il legno le Norme Tecniche da sole non bastano per la progettazione ma occorre l'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 riferimento 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.

3.1.2 Le Norme Tecniche per le Costruzioni

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (acronimo NTC) definiscono per tutti i materiali da costruzione i principi da adottare per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni nei riguardi delle prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Sono norme di carattere prestazionale come tutte le normative moderne e definiscono i criteri di sicurezza, le azioni da utilizzare nella progettazione, le caratteristiche dei materiali e tutto ciò che riguarda la sicurezza strutturale delle opere in generale.

I sotto-capitoli presenti nelle Norme Tecniche relativi alle costruzioni in legno, come detto nel paragrafo precedente, sono ben tre e riferiti a tre differenti e altrettanto importanti aspetti della progettazione: la progettazione "statica", ossia per le combinazioni fondamentali agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio, la progettazione nei confronti delle azioni sismiche, e infine le proprietà dei materiali e prodotti strutturali da base di legno e le relative procedure per la loro qualificazione.

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 (si vedano a questo proposito i principi di progettazione al paragrafo successivo) .

Stati limite ultimi	γ_M
- Combinazioni fondamentali	
Legno massiccio	1,50
Legno lamellare	1,45
Pannelli di particelle o di fibre	1,50
Compensato, pannelli di scaglie orientate (OSB)	1,40
Unioni	1,50
-Combinazioni eccezionali	1,00

Tabella 3.1: Coefficienti di sicurezza parziali per le proprietà dei materiali (γ_M) applicabili in Italia secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/08)

Materiale	Riferimento		classe di servizio	classe di durata del carico				
				permanente	lungo termine	medio termine	breve termine	istantanei
Legno massiccio o Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compenso	EN 636	P. 1,2,3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		P. 2,3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
		OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolarie)	EN 312	Parti 4,5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6,7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2	HB, LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB, HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.L A1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MBH.H LS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
			2	-	-	-	0,45	0,80
	EN 622-3	MDF.L A, MDF.H LS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MDF.H LS	2	-	-	-	0,45	0,80

Tabella 3.2: Valori di k_{mod} secondo le Norme Tecniche (DM 14/01/08)

Riguardo ai valori di questi coefficienti che devono essere obbligatoriamente utilizzati dal progettista italiano, occorre ricordare che sono sensibilmente diversi e sostanzialmente più cautelativi rispetto a quelli indicati dall'Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1: 2009 ed utilizzabili negli altri paesi

europei. Si riporta per confronto la tabella dei coefficienti parziali di sicurezza per i materiali presente nell'Eurocodice 5.

Materiale	γ_M
Legno massiccio	1,30
Legno lamellare	1,25
LVL, compensato, OSB, pannelli di particelle e di fibre	1,20
Altri materiali a base di legno	1,30
Conessioni	1,30

Tabella 3.3: Coefficienti di sicurezza parziali per le proprietà dei materiali (γ_M) secondo l'Eurocodice 5 (UNI EN 1995-1-1: 2009)

Il motivo di questa maggiore "cautela" è spiegato nella Circolare esplicativa delle NTC n. 617 del 02/02/2009 dove al punto C.4.4.6 – Resistenza di calcolo viene detto:

Per tenere conto della particolare situazione italiana, che vede per la prima volta una regolamentazione delle costruzioni di legno, il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale γ_M ed il coefficiente di correzione k_{mod} che tiene conto della durata del carico e dell'umidità del legno, assumono valori più cautelativi rispetto a quelli previsti da analoghe normative europee.

Fino all'emanazione dei provvedimenti che forniranno i valori dei coefficienti γ_M e k_{mod} di cui alle Tabelle 4.4.III e 4.4.IV delle NTC, si raccomanda di utilizzare i valori riportati nei Cap. 4.4.6 e 4.4.7 delle NTC.

Questo lascia presupporre che, passato un periodo di "rodaggio" per le strutture di legno nel nostro Paese, che attualmente si trovano in una posizione di "svantaggio" rispetto agli altri materiali da costruzione in confronto a quanto accade negli altri paesi Europei, le NTC verranno aggiornate allineando i valori dei coefficienti di sicurezza per il legno rispetto a quelli utilizzati nel resto d'Europa e motivati da precise ragioni tecnico-scientifiche.

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 indirizzo:
http://www.cnr.it/sitocnr/IICNR/Attivita/NormazioneeCertificazione/DT206_2007.html)

dovendo però, come già detto, obbligatoriamente applicare i valori dei coefficienti di sicurezza specificati in questo capitolo. Per maggiori informazioni su questi due documenti normativi e sui loro contenuti si veda quanto scritto più avanti in questo stesso paragrafo.

Le azioni da utilizzare nella progettazione devono essere definite in accordo con quanto specificato nei Capitoli 2 e 3 delle stesse Norme Tecniche.

Per quel che riguarda invece i valori delle proprietà di resistenza e rigidità dei materiali e della loro massa volumica occorre fare riferimento ad altri documenti normativi e precisamente:

- Per il legno massiccio di provenienza italiana: *UNI 11035 "Legno strutturale - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per tipi di legname strutturale italiani"*.
- Per il legno massiccio di provenienza europea e extraeuropea: *UNI EN 338 "Legno strutturale - Classi di resistenza"* e *UNI EN 1912 Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie e specie legnose"*.
- Per il legno lamellare incollato: *UNI EN 1194 "Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici"*.
- 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, nei documenti normativi citati in precedenza, alle specifiche norme EN di prodotto.

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 delle strutture di legno 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 specifiche 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.

Pertanto, nel caso di strutture progettate sull'ipotesi di comportamento strutturale dissipativo ($q > 1,5$), allo scopo di garantire lo sviluppo del comportamento plastico nei giunti e di evitare rotture fragili negli elementi di legno, occorre far sì che la resistenza di questi ultimi sia adeguatamente maggiore della resistenza dei giunti, facendo particolare attenzione che tale maggiore resistenza venga assicurata inoltre a elementi critici quali:

- ancoraggi e qualsiasi connessione a sub-elementi massicci (ad es. fondazioni in c.a., piani di muratura, etc.)
- connessioni tra diaframmi orizzontali ed elementi verticali resistenti alle azioni orizzontali.

In altre parole, si dovrà rispettare il *criterio della gerarchia delle resistenze*.

A tale proposito occorrerà osservare le seguenti prescrizioni:

- nelle zone considerate come dissipative possono essere utilizzati solamente materiali e mezzi di unione che garantiscano un adeguato comportamento oligociclico, ossia sostanzialmente unioni meccaniche o comunque unioni la cui reale capacità dissipativa venga dimostrata mediante procedure di prova stabilite in apposite norme (es. EN 12512 "Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche su giunti realizzati con connettori meccanici").
- le unioni incollate devono invece essere considerate in generale come non dissipative;

- è ammesso utilizzare nodi di carpenteria quando questi possono garantire una sufficiente dissipazione energetica, senza presentare rischi di rottura fragile per taglio o per trazione ortogonale alla fibratura, e con la presenza di dispositivi atti ad evitarne la sconnessione. In ogni caso la decisione di utilizzarle deve essere supportata da risultanze sperimentali.

In questo paragrafo sono definite le tipologie strutturali ammesse in zona sismica ed i corrispondenti valori del fattore di struttura q , ossia del *fattore da utilizzare nella progettazione per ridurre le forze ottenute da un'analisi lineare tenendo conto della risposta non lineare della struttura in funzione del materiale, del sistema strutturale e del procedimento di progettazione adottato* dividendo, come per gli altri materiali, le tipologie strutturali ammesse in due classi di duttilità, le strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica (Classe B e valori di q compresi fra 2 e 2,5) e le strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica (Classe A e valori di q compresi fra 3 e 5).

Le Norme Tecniche ammettono anche la progettazione delle strutture nell'ipotesi di comportamento scarsamente dissipativo, per le quali il fattore di struttura q assumerà il valore 1,5.

Classe		q	Esempi di strutture
A	Strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica	3,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con giunti chiodati
		4,0	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del §7.7.3)
		5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni
B	Strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica	2,0	Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con collegamenti a mezzo di bulloni o spinotti; strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismoresistente) in legno e tamponature non portanti Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del §7.7.3)
		2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del §7.7.3)

Tabella 3.4: Tipologie strutturali e fattori di struttura massimi q per le classi di duttilità.

Il sistema costruttivo *Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni* è presente due volte prima con un valore del fattore di struttura 4 e poi 2,5. Il motivo di questa ripetizione è dovuto al fatto che lo stesso sistema può assumere due differenti valori del fattore di struttura a seconda del rispetto o meno delle regole specifiche di duttilità specifiche relative al diametro degli elementi di collegamento e allo spessore delle membrature (ad es. *nelle unioni del tipo legno-legno o legno-acciaio, realizzate con perni e con chiodi, lo spessore minimo delle membrature connesse deve essere pari a 10d e il diametro del perno d non deve essere maggiore di 12 mm*).

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

Tutto il capitolo, pur contenendo comunque le informazioni e le regole essenziali necessarie alla progettazione delle costruzioni di legno nei confronti delle azioni sismiche è sostanzialmente, a parte poche modifiche, lo stesso capitolo contenuto nella prima versione sperimentale dell'Eurocodice 8 (UNI ENV 1998-1-3:1998 Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 1-3: Regole generali – Regole specifiche per i diversi materiali ed elementi) pubblicata nel 1998. E' pertanto opportuno e, a parere degli Autori, necessario, un aggiornamento e una integrazione per tenere conto dei progressi scientifici raggiunti e dell'evoluzione tecnologica che si è avuta negli ultimi anni nel settore delle costruzioni di legno. Inoltre, un argomento così delicato e importante come l'assegnazione del valore corretto del fattore di struttura q per le diverse tipologie costruttive dovrebbe essere affrontato più rigorosamente, definendo con maggiore dettaglio, anche con descrizioni grafiche o visive in modo da non lasciare adito a possibili interpretazioni errate (peraltro possibili vista la genericità di alcune descrizioni delle tipologie costruttive) e definendo con precisione le regole di duttilità e i criteri di gerarchia delle resistenze per i diversi sistemi costruttivi citati. Questo è d'altronde chiarito nello stesso capitolo 7 delle NTC dove viene specificato:

...

Le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi degli elementi strutturali, degli elementi non strutturali e degli impianti si effettuano in termini di resistenza e di duttilità.

Deve essere verificato che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una duttilità coerente con il fattore di struttura q

adottato. Questa condizione si può ritenere soddisfatta applicando le regole di progetto specifiche e di gerarchia delle resistenze indicate per le diverse tipologie costruttive.

Riferendosi nello specifico alla progettazione di edifici a struttura di legno e facendo riferimento ai quattro sistemi costruttivi attualmente più diffusi al mondo ossia il sistema Platform Frame (in Italia noto come sistema a telaio), il sistema a pannelli portanti a strati incrociati o XLam, il sistema a blocchi massicci di legno o a tronchi (Blockhaus o Log House) e il sistema a travi e pilastri (post and beam) si rileva quanto segue:

- Sistema Platform Frame. E' 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. E' presente nella descrizione dei sistemi costruttivi ammessi (*Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni*)¹ 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.
- Sistema a blocchi o tronchi massicci di legno. Non è contemplato fra le tipologie costruttive ammesse, non è indicato il valore del fattore di struttura e ovviamente mancano le regole specifiche di progettazione, i criteri di gerarchia delle resistenze e le indicazioni costruttive. E' tuttavia opinione degli Autori che possa essere ugualmente utilizzato in zona sismica, assumendo un valore del fattore di struttura $q=2$.
- Sistema a travi e pilastri. E' presente tra i sistemi costruttivi ammessi (*Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni*), è indicato il valore del fattore di struttura (4 e 2,5 a seconda del rispetto o meno delle regole di duttilità) sono presenti le regole di duttilità specifiche per giunti

¹ In realtà tale descrizione era già presente nella versione sperimentale dell'Eurocodice 8 del 1998 e non è pertanto riferibile al sistema XLam che al tempo non esisteva ancora. Tuttavia è opinione condivisa dalla comunità scientifica che tale descrizione possa essere applicata anche al sistema XLam nel caso in cui le pareti siano realizzate con pannelli interi senza o con pochi giunti verticali di collegamento tra i pannelli.

e orizzontamenti ma mancano 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.

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 (ad es. questo è il caso dei pannelli a base di legno quali OSB e compensato, coperti dalla norma armonizzata EN 13986, per i quali la marcatura CE è obbligatoria dal 2004);
- 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 Settembre 2012 e del legno lamellare incollato coperto dalla norma armonizzata EN 14080, per il quale la marcatura CE diventerà obbligatoria dal Dicembre 2011);

- 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 (anche estero, se consegna direttamente in cantiere con propria fattura) dev'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.

Tutte le forniture devono essere accompagnate dall'attestato di qualificazione e se forniti da un centro di lavorazione anche dall'attestato di denuncia di attività. Sugli attestati devono essere riportati i riferimenti ai documenti di trasporto; devono accompagnare la fornitura anche i documenti di trasporto di tutti i trasportatori dallo stabilimento di produzione o lavorazione al cantiere.

Riguardo alla **marcatatura 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) rilasciato 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 armonizzata² 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 Approvazione³ 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

² Anche nel caso in cui sia stato rilasciato un mandato per una norma armonizzata è comunque possibile il rilascio del benestare tecnico europeo per prodotti per cui esistono orientamenti per tale benestare, fino all'entrata in vigore della norma armonizzata negli Stati membri.

³ Ai fini della marcatura CE, l'Art. 18 della CPD richiede agli Stati Membri di notificare gli Organismi riconosciuti per l'Attestazione di conformità distinguendo tra:

- Organismo di Certificazione, deputato al rilascio del Certificato di Conformità sulla base dell'attività di Ispezione e se necessario anche di Prova;
- Organismo di Ispezione, che deve svolgere le funzioni di Ispezione e valutazione e riferire di conseguenza all'Organismo di Certificazione;
- Laboratorio di Prova, che deve provare le prestazioni del prodotto da costruzione prelevato dall'Organismo di Ispezione e riferire e inviare all'Organismo di Certificazione.

Un solo Organismo, se notificato per le varie funzioni, può rivestire tutti e tre i ruoli.

di Certificazione europeo notificato ai sensi della CPD e dalla Dichiarazione di Conformità CE sottoscritta dal produttore.

3.1.3 L'Eurocodice 5 e le Istruzioni CNR DT/206

Come accennato nei paragrafi precedenti 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.

Non è naturalmente possibile all'interno delle poche pagine contenute in questo paragrafo descrivere tutto il contenuto di entrambe le normative, ci limiteremo in questa sede a enunciarne i contenuti essenziali e gli aspetti più importanti in relazione ai contenuti di questa pubblicazione, rimandando al § 3.2 per i criteri di progettazione.

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_{defr} 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 rigidità) del legno si deve fare riferimento a tre distinti documenti: per il legno massiccio di provenienza italiana alla UNI 11035 "Legno Strutturale - Classificazione - Requisiti generali, regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e valori caratteristici per tipi di legname italiani", o la UNI EN 338 "Legno strutturale - Classi di resistenza" per il legno massiccio di provenienza estera (fino all'integrazione delle provenienze italiane all'interno della norma UNI EN 1912, dopodiché varrà solo la UNI EN 338) e la UNI EN 1194 "Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici" per il legno lamellare incollato.
- 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 DT\206 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-cls, 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.

3.1.4 Il DPR 380\01

IL DPR 380 del 2001 è la Legge Quadro nel settore dell'Edilizia e contiene i principi fondamentali e generali e le disposizioni per la disciplina dell'attività edilizia.

Il Decreto è un compendio delle indicazioni contenute nelle normative previgenti (e peraltro citate in ogni articolo) in relazione a vari aspetti che regolano l'attività edilizia (tipologie di interventi edilizi possibili, titoli abilitativi, agibilità degli edifici e vigilanza e responsabilità sull'attività urbanistico-edilizia).

All'Art 52 – Tipo di strutture e norme tecniche, al comma 1, viene detto:

In tutti i comuni della Repubblica le costruzioni sia pubbliche sia private debbono essere realizzate in osservanza delle norme tecniche riguardanti i vari elementi costruttivi fissate con decreti del Ministro per le infrastrutture e i trasporti, sentito il Consiglio superiore dei lavori pubblici che si avvale anche della collaborazione del Consiglio nazionale delle ricerche. Qualora le norme tecniche riguardino costruzioni in zone sismiche esse sono adottate di concerto con il Ministro per l'interno. Dette norme definiscono:

- a) i criteri generali tecnico-costruttivi per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento;*
- b) i carichi e sovraccarichi e loro combinazioni, anche in funzione del tipo e delle modalità costruttive e della destinazione dell'opera, nonché i criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni;*
- c) le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le precisazioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle opere di sostegno delle terre*

e delle opere di fondazione; i criteri generali e le precisazioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di opere speciali, quali ponti, dighe, serbatoi, tubazioni, torri, costruzioni prefabbricate in genere, acquedotti, fognature;
d) la protezione delle costruzioni dagli incendi.

Le Norme Tecniche citate sono state poi effettivamente emanate prima nel 2005 e successivamente aggiornate nel 2008 e contengono diversi aspetti in contraddizione con quanto contenuto nel DPR 380 (che tra l'altro all'art.60 prevede una regolamentazione diversa per le strutture in acciaio, c.a. e c.a.p.).

Al comma 2 dello stesso articolo viene specificato:

“Qualora vengano usati sistemi costruttivi diversi da quelli in muratura o con ossatura portante in cemento armato normale e precompresso, acciaio o sistemi combinati dei predetti materiali, per edifici con quattro o più piani entro e fuori terra, l'idoneità di tali sistemi deve essere comprovata da una dichiarazione rilasciata dal presidente del Consiglio superiore dei lavori pubblici su conforme parere dello stesso Consiglio”.

Questo paragrafo riprende esattamente la stessa dicitura contenuta nell'art. 1 della Legge 2 febbraio 1974, n. 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche” (peraltro citata nel titolo dello stesso articolo). Si tratta quindi di disposizioni risalenti allo stato dell'arte di circa 40 anni fa.

Il capitolo 7.2 (“Criteri generali di progettazione e modellazione”) del DM 14.01.08 recita invece come criterio circa l'altezza massima degli edifici la seguente dicitura (Par. 7.2.2 “Caratteristiche generali delle costruzioni – Altezza massima dei nuovi edifici”):

“Per le tipologie strutturali: costruzioni di legno e di muratura non armata che non accedono alle riserve anelastiche delle strutture, ricadenti in zona 1, è fissata una altezza massima pari a due piani dal piano di campagna, ovvero dal ciglio della strada. Il solaio di copertura del secondo piano non può essere calpestio di volume abitabile.

Per le altre zone l'altezza massima degli edifici deve essere opportunamente limitata, in funzione delle loro capacità deformative e dissipative e della classificazione sismica del territorio. (...)”

Come si può facilmente constatare, in tale capitolo non vi è più nessun riferimento a quanto indicato all'interno dei documenti legislativi sopra menzionati (DPR 380/01, Legge 64/74 e documenti correlati): ogni

riferimento a criteri di carattere prescrittivo sembra essere abbandonato a favore di un approccio di carattere prestazionale proprio degli Eurocodici e dello stesso DM 14.01.08.

Di fatto quindi la prescrizione del comma 2 dell'art. 52 del DPR 380, costituisce una forte limitazione allo sviluppo delle costruzioni di edifici in legno multipiano nel nostro Paese, peraltro già superata dai risultati della ricerca scientifica e da casi concreti di realizzazioni già esistenti in Europa.

Recentemente, nei primi mesi del 2011, è stata nominata dallo stesso Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici una commissione composta da membri universitari, rappresentanti dell'industria del legno e dello stesso Consiglio Superiore che si dovrà occupare della emissione di Linee Guida contenenti indicazioni circa la procedura da seguire per l'emissione di detto parere.

3.2 PRINCIPI DI PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI LEGNO, UNIONI E TIPOLOGIE DI COLLEGAMENTO

3.2.1 Criteri generali

La progettazione di una struttura di legno non è solamente calcolo, il calcolo è una delle componenti che insieme ad altre che sono strettamente interconnesse, consente di arrivare ad un'opera al contempo sicura, affidabile ed economica.

I fattori da considerare nella progettazione sono molteplici:

- la conoscenza del materiale;
- il calcolo strutturale;
- la concezione dei dettagli costruttivi;
- gli aspetti ecologici;
- i requisiti energetici ed acustici;
- le prescrizioni di uso e manutenzione;
- il comportamento statico e sismico;
- la protezione contro l'incendio.

Per quel che concerne il calcolo strutturale si illustreranno in questa sede i punti salienti dell'Eurocodice 5 nella sua versione definitiva (EN 1995-1-1:2009, con il preciso scopo di sottolinearne gli aspetti principali senza spiegare i concetti alla base della Tecnica delle costruzioni in Legno e delle verifiche con il metodo semiprobabilistico agli stati limite che si considerano in questa sede già acquisiti dal lettore.

3.2.2 Verifica di resistenza degli elementi strutturali

Dovrà essere verificato per la sezione generica che sia:

$$\sigma_d \leq f_k \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

dove:

σ_d è la tensione agente di progetto, calcolata a partire dallo schema statico e dai carichi nominali agenti aumentati dei coefficienti parziali di sicurezza γ_f loro spettanti nonché dei coefficienti di combinazione ψ_0, ψ_1, ψ_2 delle azioni, che sono indipendenti dal materiale con cui è costruita l'opera (acciaio, legno, c.a., etc.).

f_k rappresenta la resistenza caratteristica al frattile 5% del materiale secondo i diversi tipi di tensione a seconda della

natura e della loro direzione rispetto alla direzione della fibratura (Tabella 3.5 e Figura 3.1).

Proprietà di resistenza		Proprietà di rigidità		Massa volumica	
Flessione	$f_{m,k}$	Modulo elastico parallelo medio	$E_{0,mean}$	Massa volumica caratteristica (5%)	ρ_k
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	Modulo elastico parallelo caratteristico	$E_{0,05}$	Massa volumica media	ρ_{mean}
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	Modulo elastico perpendicolare medio	$E_{90,mean}$		
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	Modulo elastico tangenziale medio	G_{mean}		
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$				
Taglio	$f_{v,k}$				

Tabella 3.5: Proprietà di resistenza (secondo natura ed inclinazione rispetto alla fibratura), rigidità e massa volumica, e relativa simbologia.

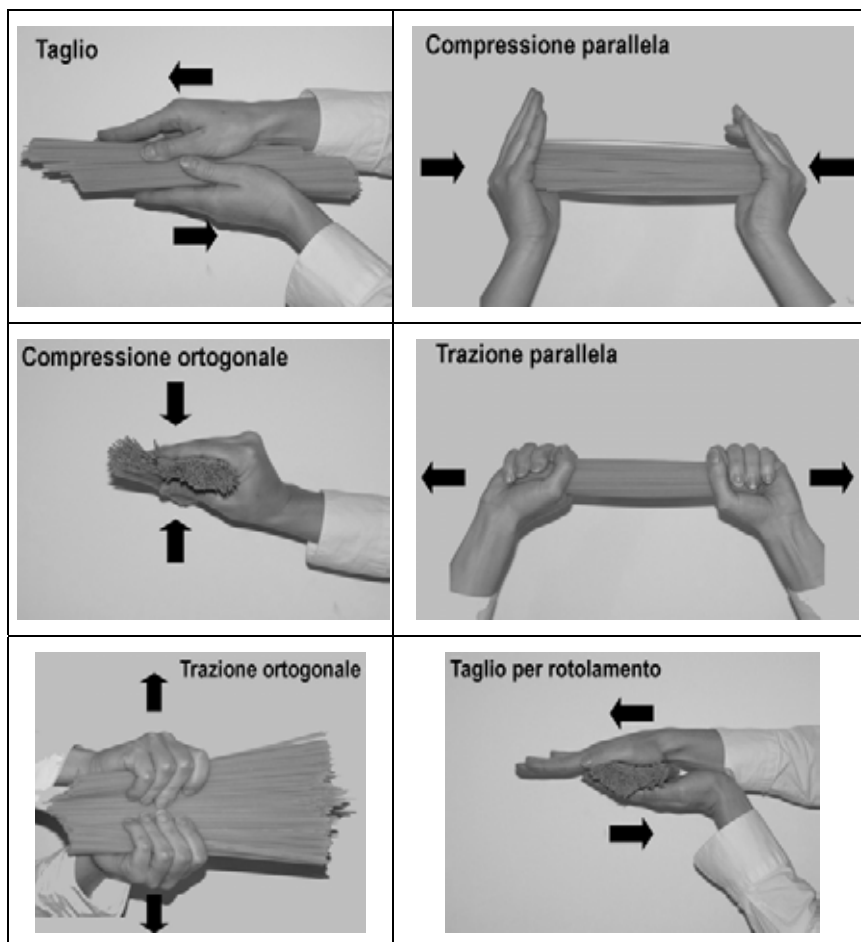


Figura 3.1: Per comprendere meglio il comportamento del materiale e il significato delle tabelle una similitudine abbastanza efficace è quella del pacco di spaghetti. Assimilando che ogni singolo spaghetti sia una singola cellula allungata o fibra che compone il tessuto legnoso, e provando a sollecitarlo nelle varie direzioni, possiamo comprendere meglio il comportamento del materiale legno e quindi i profili delle resistenze indicati nelle tabelle.

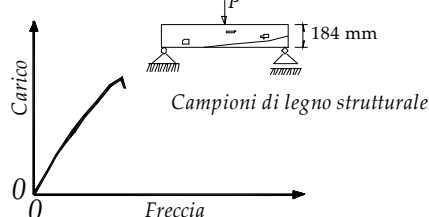
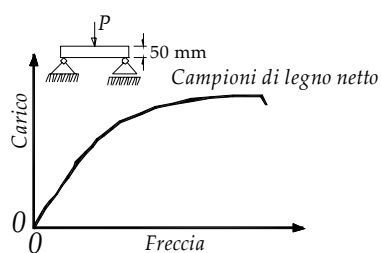
k_{mod} è il coefficiente che tiene conto delle condizioni di servizio (umidità del legno) e della "durata del carico".

γ_m è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale.

In particolare si può dire che:

- come si evince dalla formula sopra riportata, diversamente che per l'acciaio ed il calcestruzzo armato la verifica della sezione si fa sulle tensioni e non sulle azioni interne. Infatti si

ritiene che la rottura avvenga quando ancora il materiale è in campo elastico lineare, per cui c'è linearità fra azioni interne e tensioni.



Differenza di comportamento a rottura di campioni in piccole dimensioni di legno senza difetti, e di campioni in dimensioni d'uso di legno strutturale.

Si nota un deciso comportamento lineare fino a rottura, tanto più accentuato e frequente quanto più il materiale è di minor resistenza. Le norme di calcolo fanno riferimento al comportamento elastico lineare fino a rottura.

- le f_k vengono fornite al progettista non nella norma, ma in apposite norme UNI-EN, sotto forma di classi di resistenza (Tabella 3.6 e Tabella 3.7, per legno massiccio - Tabella 3.8, per legno lamellare incollato). Sarà possibile attribuire un tipo di legno (specie, provenienza, categoria resistente) ad una classe di resistenza (Tabella 3.9). In definitiva, sarà possibile per il progettista chiedere la Classe C30, così come ora chiede per il calcestruzzo la classe Rck 30 (ad esempio). Per i legnami italiani ci si rifà alla Norma UNI 11035 "Legno Strutturale - Classificazione - Requisiti generali, regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e valori caratteristici per tipi di legname italiani".

		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Proprietà di resistenza in N/mm²													
Flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Taglio	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Proprietà di rigidezza in kN/mm²													
Modulo di elasticità medio parallelo	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Modulo di elasticità caratteristico	E_k	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Modulo di elasticità medio perp.	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Modulo di taglio medio	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Massa volumica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Massa volumica media	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabella 3.6: Profili resistenti e caratteristici delle varie classi di resistenza di legno massiccio di conifera così come individuate nella norma EN 338 (2009).

		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<i>Proprietà di resistenza in N/mm²</i>									
Flessione	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Taglio	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
<i>Proprietà di rigidità in kN/mm²</i>									
Modulo di elasticità medio parallelo	$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Modulo di elasticità parallelo	E_k	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Modulo di elasticità medio perp.	$E_{90,mean}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Modulo di taglio medio	G_{mean}	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Massa volumica in kg/m ³									
Massa volumica	ρ_k	475	485	530	540	550	620	700	900
Massa volumica media	ρ_{mean}	570	580	640	650	660	750	840	1080

Tabella 3.7: Profili resistenti e caratteristici delle varie classi di resistenza di legno massiccio di latifolia così come individuate nella norma EN 338 (2009).

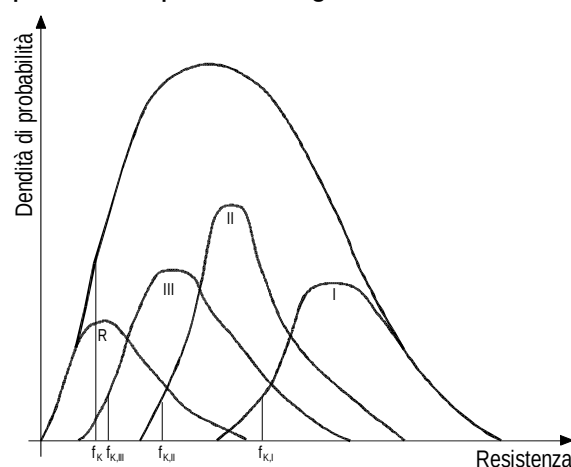
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Proprietà di resistenza in N/mm ²									
Flessione	$f_{m,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0,40	0,45	0,50	0,60	0,35	0,40	0,45	0,50
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
Taglio	$f_{v,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
Proprietà di rigidezza in kN/mm ²									
Modulo di elasticità medio parallelo	$E_{0,mean}$	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
Modulo di elasticità parallelo	E_k	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
Modulo di elasticità medio perp.	$E_{90,mean}$	0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
Modulo di taglio medio	G_{mean}	0,72	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
Massa volumica in kg/m ³									
Massa volumica	ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430

Tabella 3.8: Classi di resistenza per legno lamellare incollato di conifera secondo UNI EN 1194:2000.

classe di resistenza secondo EN 338	categoria (norma nazionale)	specie legnosa	provenienza
	ST-I (Francia)	Abete bianco e rosso, Pini	Francia
	S13 (Germania, Austria e Repubblica Ceca)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa centrale, del nord e dell'est
C30	T3 (Paesi nordici)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa del nord e del nord-est
	J&P Sel (USA) SLF Sel (USA)	Pino pece	USA
	ME1 (Spagna)	Pino laricio	Spagna
	S0 (Slovacchia)	Abete rosso	Slovacchia
	ST-II (Francia)	Abete bianco e rosso, Douglasia, Pini, Pioppo, Larice	Francia
	S10 (Germania)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa centrale, del nord e dell'est
	S10 (Germania)	Douglasia	Germania
	T2 (Paesi nordici)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa del nord e del nord-est
C24	ME1 (Spagna)	pino radiato, Pino marittimo	Spagna
	SS (Regno Unito)	Pino del Paraná	Brasile
	SS (Regno Unito)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre	Europa centrale, del nord e dell'est
	SS (Regno Unito)	Douglasia, Larice	USA e Canada
	SS (Regno Unito)	Pino pece	Caraibi
	J&P Sel (USA) SLF Sel (USA)	Douglasia, Larice, Abete bianco e rosso	USA e Canada

Tabella 3.9: Assegnazione delle categorie e specie legnose alle classi di resistenza per legno strutturale secondo EN 1912 (1997).

La classificazione secondo la resistenza consente di separare gli elementi meno resistenti da quelli più resistenti. Classificando in categorie di qualità resistente, in base al tipo ed entità dei difetti presenti (ad es. dimensioni dei nodi, inclinazione della fibratura) è possibile separare il legname in funzione della sua resistenza. Le



regole di classificazione sono diverse da paese a paese perché generalmente "calibrate" sui legni di produzione locale. I difetti che maggiormente incidono sulla resistenza sono comunque nodi ed inclinazione della fibratura, alcuni tipi di fessurazione,

eccetera. Per ciascun tipo di legno (specie legnosa, provenienza, categoria), dopo una metodica ed estesa campagna di prove a rottura su elementi in dimensioni d'uso (vedi Giordano, 1999, cap. 4), è possibile determinare la distribuzione delle resistenze che compete a ciascuna categoria e determinarne il valore caratteristico al frattile 5% (sopra: si sono individuate tre categorie, I,II,III ed R, quest'ultima comprendente gli elementi rifiutati). Come si può vedere dal diagramma le regole di classificazione non sono efficienti al 100% giacché non consentono di collocare tutti i pezzi migliori nella categoria più alta e i pezzi peggiori tutti nella categoria più bassa. Tuttavia le regole di classificazione sono essenziali perché consentono comunque di individuare valori diversi e scalati di resistenze di riferimento utili per il calcolo, e quindi di avere un progetto più efficiente. Si noti che la parte di coda a sinistra delle distribuzioni di resistenza è pressoché trunca: il che vuol dire che con il legno, una volta classificato, si hanno possibilità molto remote di incappare in resistenze più basse di quelle previste.

- γ_m è il coefficiente di sicurezza sul materiale, serve per passare dalla resistenza al frattile 5% a quella di progetto (nominalmente definita "al 5‰").

	<i>Eurocodice 5</i>	DM08
<i>materiale</i>	γ_m	γ_m
legno massiccio	1,30	1,50
legno lamellare	1,25	1,45
LVL, compensato, OSB, pannelli di particelle e di fibre	1,20	1,40 – 1,50
altri materiali a base di legno	1,30	-
connessioni	1,30	1,50

Tabella 3.10: Coefficienti di sicurezza parziali per le proprietà dei materiali (γ_m)

- k_{mod} è un fattore di correzione che tiene in conto contemporaneamente dell'influenza sulla resistenza del materiale dovuta al contenuto di umidità nel legno e alla durata del carico. Le resistenze f_k infatti, sono sempre riferite ai risultati di prove a rottura della durata di 5 minuti su campioni aventi una umidità nominale, all'atto della prova, del 12%. Riguardo all'umidità, sono individuate tre classi di servizio, in parentesi l'umidità mediamente riscontrabile nel legno:
 Classe di Servizio 1: al chiuso, riscaldata di inverno ($u \leq 12\%$)
 Classe di Servizio 2: al chiuso, non riscaldata di inverno; all'aperto, coperta ($12\% < u \leq 20\%$)
 Classe di Servizio 3: all'aperto, non protetta ($u > 20\%$).

Riguardo all'effetto della *durata del carico*, e quindi di un possibile danneggiamento interno del materiale a causa del prolungarsi di un elevato stato di tensione nel tempo, ad ogni carico si attribuisce un valore di k_{mod} (Tabella 3.11 e Tabella 3.12).

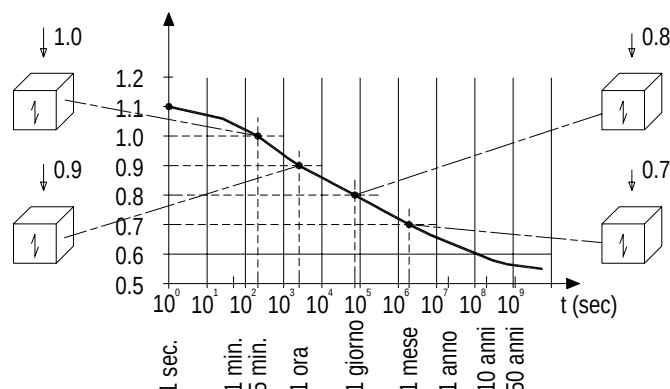


Figura 3.2: Influenza della durata del carico sui parametri di resistenza, secondo l'Eurocodice 5. Supponendo di avere 4 cubetti di legno esattamente uguali, si sottopone il primo ad una prova di rottura a compressione parallela alla fibratura. Le prove di resistenza, mediante le quali si determinano i valori di resistenza caratteristica devono avere la durata di 5 min. Fatto 1 il carico che ha portato a rottura il cubetto in 5 minuti, se sottoponiamo un secondo cubetto ad un carico pari a 0,9 questo si romperà dopo 1 ora, sottoponendo un terzo cubetto ad un carico pari a 0,8 questo si romperà dopo 1 giorno, sottoponendo un quarto cubetto ad un carico pari a 0,7 si romperà dopo 1 mese. La curva ha andamento asintotico per cui sottoponendo un eventuale quinto cubetto ad un carico pari a 0,5, questo non si romperà mai. Il limite del 50% è detto limite di scorrimento, e al di sotto non c'è danneggiamento interno del materiale se sottoposto a carichi prolungati. La possibilità di danneggiamenti interni del materiale dovuti all'azione di carichi particolarmente elevati - al di sopra del limite di scorrimento - per tempi di durata ridotta, è tenuta in conto dal coefficiente k_{mod} .

Se la combinazione di carico prevede carichi di durata diversa si prende il k_{mod} relativo alla durata più breve.

Classe di durata del carico	Durata accumulata del carico caratteristico	Esempi di carico
Permanente	più di 10 anni	peso proprio
Lunga durata	6 mesi - 10 anni	carico di esercizio nei locali adibiti a deposito
Media durata	1 settimana - 6 mesi	carichi di esercizio in generale
Breve durata	meno di 1 settimana	neve (*)
Istantaneo	--	vento e carichi eccezionali
* In aree dove si registrano elevati carichi di neve per prolungati periodi di tempo è opportuno considerare una parte del carico come carico di media durata.		

Tabella 3.11: Classi di durata del carico come definite nell'Eurocodice 5.

classe di servizio	classe di durata del carico				
	permanente	lungo termine	medio termine	breve termine	istantanei
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Tabella 3.12: Valori di k_{mod} per legno massiccio, legno lamellare ed LVL da DM08.

Si devono comunque condurre le verifiche per tutte le condizioni di carico: solo carichi permanenti, carichi permanenti più un carico di servizio, carichi permanenti più due carichi di servizio con i relativi coefficienti di combinazione, eccetera.

L'effetto altezza:

Le resistenze a trazione $f_{t,0,k}$ ed a flessione $f_{m,k}$ posso essere aumentate del coefficiente k_h :

- per legno massiccio con $\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$

- per legno lamellare incollato

L'effetto altezza tiene conto del fatto che i valori caratteristici di resistenza sono ricavati da prove su elementi di altezza pari a 150mm per il legno massiccio e 600mm per il legno lamellare incollato, pertanto per altezze inferiori la minore probabilità di trovare un difetto nella zona maggiormente sollecitata porta a poter considerare una resistenza leggermente più elevata. Tale "premio" può essere trascurato a favore di sicurezza.

3.2.3 Verifica per stati di tensione composti

Le verifiche per stati di tensione composti diventano di facile comprensione, ad esempio, nel caso di tenso-flessione si avrà:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

essendo al numeratore le tensioni di progetto agenti, di trazione parallela alla fibratura e di flessione, rispettivamente, e le corrispondenti tensioni resistenti di progetto al denominatore.

3.2.4 Verifica delle unioni

Per i collegamenti, in cui il comportamento è supposto elasto-plastico a duttilità più o meno accentuata, la verifica si fa sugli sforzi agenti/resistenti, come nell'approccio classico degli stati limite ultimi:

$$S_d \leq R_k \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

S_d è lo sforzo agente di progetto calcolato a partire dallo schema statico e dai carichi nominali agenti aumentati dei coefficienti parziali di sicurezza γ_f loro spettanti, con i relativi fattori di combinazione ψ_0, ψ_1, ψ_2 che sono indipendenti dal materiale con cui è costruita l'opera (acciaio, legno, c.a., eccetera).

k_{mod} è il coefficiente che tiene conto delle condizioni di servizio (umidità del legno) e della "durata del carico"

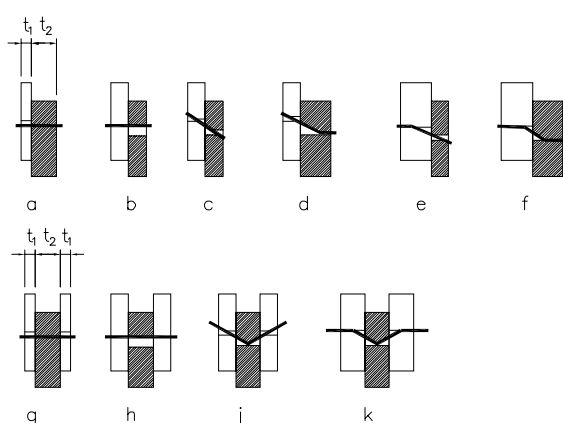
γ_m è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale.

Le R_k vengono fornite attraverso formule derivate da quelle di Johansen (1949), qui non riportate, ognuna delle quali basata sull'ipotesi di un preciso modo di rottura della sezione. Anche l'effetto di più elementi di collegamento allineati viene tenuto in conto attraverso appositi coefficienti riduttivi che tengono conto che la resistenza di un gruppo di n elementi di collegamento allineati è inferiore a n volte la resistenza del singolo elemento di collegamento.

In generale nel calcolo della resistenza rientrano i seguenti parametri:

- la geometria;
- il momento di snervamento degli elementi metallici di collegamento;
- la resistenza a rifollamento del legno (legata alla massa volumica caratteristica ρ_k);
- la tensione di taglio del legno;
- il probabile meccanismo di rottura.

Da notare che lo stesso bullone impegnato in una unione acciaio-acciaio porta circa 5 volte il carico che può portare in una unione legno-legno o acciaio-legno.



Modi di rottura per unioni legno-legno e pannello-legno a singola (a-f) e doppia (g-k) sezione resistente secondo la teoria di Johansen per il calcolo della capacità portante a taglio di mezzi di unione a gambo cilindrico proposte dall'Eurocodice 5 e dalle CNR DT/206.

3.2.5 Stati limite di esercizio

Elementi strutturali

Il legno è materiale che ha un comportamento viscoso peculiare, per certi versi migliore di quello del calcestruzzo, ma per altri versi molto insidioso. Nella norma si forniscono i valori del coefficiente k_{def} , dove k_{def} è definito come segue, essendo u_{creep} la deformazione viscosa a tempo infinito sotto un carico agente costantemente nel tempo, ed essendo u_{ist} la deformazione istantanea sotto lo stesso carico:

$$u_{creep} = u_{ist} \cdot k_{def}$$

k_{def} è fornito dalla norma in funzione della classe di servizio (Tabella 9) e si riferisce all'incremento di deformazione dovuto ai carichi permanenti e quasi permanenti.

Tipi di legno	Classe di servizio		
	1	2	3
Legno massiccio	0,60	0,80	2,00
Lamellare incollato	0,60	0,80	2,00
Compensato	0,80	1,00	2,50

* Per il legno massiccio posto in opera all'umidità corrispondente al punto di saturazione o vicino ad esso, e che sia con probabilità soggetto al processo di essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} sarà aumentato di 1,0.

Tabella 3.13: Valori di k_{def} per legno massiccio, legno lamellare e compensato.

Per cui la freccia a tempo infinito di una trave sottoposta ad un carico permanente G_k ed ad un carico di servizio Q_k , essendo $\psi_2 Q_k$ la quota quasi-permanente del carico di servizio, si calcolerà come:

$$u_{fin} = u_{inst} + u_{creep} = u_{inst,G} \times (1 + k_{def}) + u_{inst,Q} \times (1 + \psi_2 \times k_{def})$$

essendo:

$\psi_2 = 0,0$ per il carico neve;

$\psi_2 = 0,3$ per i carichi accidentali negli edifici residenziali;

$u_{ist,G}$ = freccia istantanea dovuta ai soli carichi permanenti;

$u_{ist,Q}$ = freccia istantanea dovuta ai soli carichi accidentali.

L'EC5 fornisce dei limiti sia per la deformazione istantanea che finale.

Ad esempio per travi semplicemente appoggiate vengono indicati i seguenti valori:

u_{ist} = da 1/500 a 1/300 della luce

u_{fin} = da 1/300 a 1/150 della luce

Unioni

Per il calcolo dello scorrimento nelle unioni utile, ad esempio, per la valutazione della freccia di strutture con unioni meccaniche, si usa un coefficiente di *slip* fornito in Figura 3.1. Per la deformazione viscosa si userà un coefficiente k_{def} maggiorato (il doppio) rispetto a quello del legno.

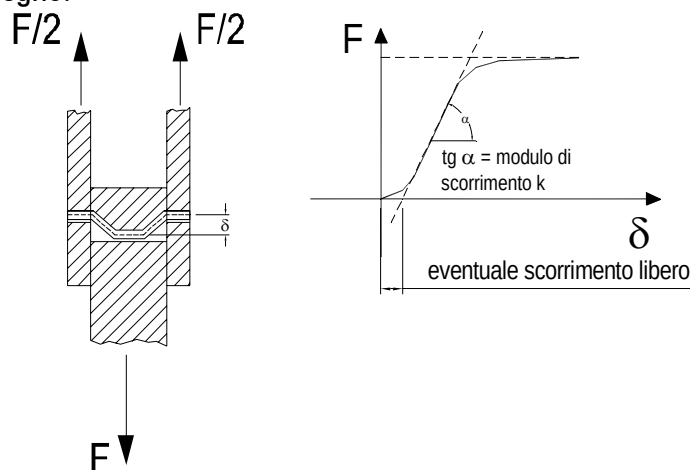


Figura 3.3: Valori di K_{ser} per mezzi di unione del tipo a gambo cilindrico in N/mm

Tipo del mezzo di unione	Legno - legno Pannello- legno Acciaio - legno
Spinotti Viti Chiodi (con preforatura)	$\rho_m^{1,5} d / 25$
Chiodi (senza preforatura)	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$
Bulloni	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 35$
Moltiplicare per 2,0 per unioni acciaio-legno e calcestruzzo-legno	

Tabella 3.14: Modulo di scorrimento per collegamenti meccanici. ρ_m è la massa volumica media del legno e d è il diametro dell'elemento di collegamento meccanico.

Vibrazioni

Le vibrazioni nelle strutture di legno rivestono importanza in quanto il modulo di elasticità basso può determinare frequenze proprie eccessivamente basse.

Per una trave su doppio appoggio soggetta a carico uniformemente distribuito la frequenza propria è:

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{E_{din}}{J \cdot m}}$$

Nella formula:

m è la massa in kg/m nella combinazione quasi permanente $G_1 + G_2 + \psi_2 \cdot Q$, il carico espresso in kN/m deve essere moltiplicato per 1000 per esprimerlo in N/m e poi diviso per 9,81 per esprimerlo in kg/m o che è lo stesso (Ns²/m)/m;

E_{din} è il modulo di elasticità longitudinale dinamico espresso in N/m², è pari al modulo di elasticità aumentato del 10% per considerare l'incremento in fase dinamica;

J è il modulo di elasticità espresso in m⁴;

l è la luce espressa in m.

L'Eurocodice 5 al paragrafo 7.3 fornisce indicazioni di difficile applicazione ed interpretazione, è possibile però, per analogia, riferirsi alle indicazioni dell'Eurocodice 3 che stabilisce:

- abitazioni e uffici $f \geq 3$ Hz
- palestre e sale da ballo $f \geq 5$ Hz.

3.3 COMPORTAMENTO SISMICO E AL FUOCO DELLE STRUTTURE DI LEGNO

3.3.1 Concetti generali sul comportamento sismico degli edifici in legno

L'evento sismico occorso il 6 Aprile 2009 in Abruzzo ha portato ancora una volta alla ribalta il tema della sicurezza sismica nel nostro paese. Che il nostro territorio sia interamente sismico non è certo una novità (adesso "certificata" definitivamente anche dalle NTC), ma purtroppo nonostante il fatto che solo il 15% delle abitazioni in Italia sia stato costruito secondo criteri antisismici (ossia quantomeno dopo l'introduzione della prima norma sismica "moderna" nel nostro paese ossia la L. 64/1974) e che il costo delle ricostruzioni post-terremoto solamente negli ultimi 40 anni ammonti a circa 150 miliardi di euro (talvolta spesi per opere mai realizzate) si continua a "rincorrere" i terremoti, parlandone solamente quando questi avvengono e non investendo sufficientemente in prevenzione.

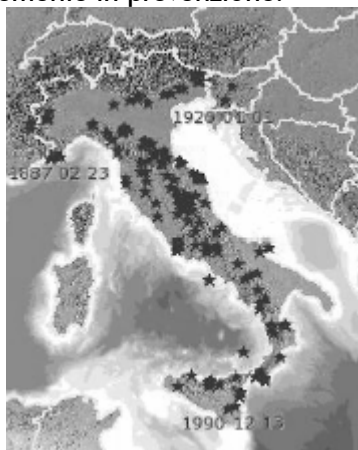


Figura 3.4: Mappa dei terremoti con Magnitudo>6 avvenuti in Italia dal 1800 al 1997 (fonte: CFTI 4 Med – Catalogo storico interattivo dei terremoti italiani e dell'area mediterranea – INGV)

Ma qualcosa sta cambiando, perlomeno nella consapevolezza e nella percezione dell'opinione pubblica verso determinati materiali e sistemi costruttivi. Oramai, anche grazie ad una serie di importanti ed eccezionali prove sperimentali effettuate tra il 2005 e il 2009 che hanno portato alla esecuzione di una serie di prove sismiche su edifici in dimensioni reali interamente a struttura di legno rispettivamente di 3, 6 e 7 piani, conosciute anche attraverso una giusta e diffusa

esposizione mediatica, è opinione comune che le strutture di legno anche di molti piani si comportino egregiamente nei confronti dei terremoti. Tutto a un tratto il legno è diventato un "materiale antisismico". Ma esistono materiali antisismici?



Figura 3.5: 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).

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

Esistono però dei materiali e dei sistemi costruttivi che presentano alcune proprietà e caratteristiche che li rendono particolarmente adatti a realizzare edifici che resistono bene alle azioni sismiche. E che non solo resistono, ma che sono anche in grado di subire danni minimi e facilmente riparabili anche a seguito di terremoti catastrofici, cosa difficile da ottenere in maniera economica con altri materiali e sistemi costruttivi. E questo è il caso del legno e delle strutture di legno ben progettate e ben realizzate.

Semplificando e sintetizzando il problema, le forze sismiche che agiscono su una struttura possono essere calcolate secondo la Legge di Newton, $\text{forza} = \text{massa} \times \text{accelerazione}$. 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. Per comprendere meglio basta osservare l'immagine sulla destra della pagoda del tempio di Horyu-ji a Nara, antica capitale del Giappone, esempio mirabile di struttura totalmente in legno allo stesso tempo leggera, resistente e flessibile e che con i suoi 31,5 m di altezza e 14 secoli di vita è un esempio eccezionale di durabilità e di resistenza sismica.



Figura 3.6: Pagoda del tempio di Horyu-ji a Nara, Giappone, anno di costruzione 607 d.C.

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.

3.3.2 Criteri di progettazione antisismica per gli edifici multipiano in legno

La progettazione antisismica, come suggerito dall'Eurocodice 8 e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, prevede che le strutture debbano essere concepite secondo il "Criterio della gerarchia delle resistenze", ossia occorre prevedere che gli elementi strutturali a comportamento plastico raggiungano lo stato post-elastico quando gli elementi a comportamento fragile sono ancora in fase elastica e ben lontani dal raggiungimento della rottura. Questo significa che nelle strutture in acciaio ad esempio, i giunti saldati vengano progettati in modo da essere molto più resistenti delle aste (avendo le saldature un comportamento fragile). La funzione dissipativa, essendo insita nelle caratteristiche del materiale, verrà svolta dalle parti di struttura non interessate dalle saldature. Nel C.A. invece, tale comportamento si ottiene progettando le sezioni con una opportuna staffatura, in modo tale da evitare la rottura a taglio che è sempre una rottura fragile. Nel caso delle strutture in legno tale criterio viene perseguito progettando adeguatamente i giunti con connettori meccanici, avendo ovviamente cura nel rendere gli elementi di legno più resistenti dei giunti (esattamente l'opposto quindi del criterio seguito nella progettazione delle strutture in acciaio).

Della duttilità si tiene conto nella progettazione attraverso l'introduzione del fattore di struttura q che consente di ridurre lo spettro di risposta per ottenere lo spettro di progetto da utilizzare nella analisi lineare. Il fattore di struttura è definibile come il rapporto fra l'accelerazione di picco del terremoto che porta al crollo la struttura e l'accelerazione di picco che porta la struttura al raggiungimento del limite elastico:

$$q = \frac{a_u}{a_y}$$

In pratica attraverso l'introduzione del fattore di struttura q , che tiene conto della capacità di dissipazione di energia della struttura

attraverso un comportamento duttile, si consente al progettista di progettare la struttura in campo lineare tenendo conto dell'effettivo comportamento non lineare, semplicemente dividendo le ordinate dello spettro di risposta per il valore di questo coefficiente. I valori del fattore di struttura sono ovviamente diversi in funzione del tipo di materiale utilizzato, delle caratteristiche dei giunti e del tipo di struttura. Ovviamente nel caso di strutture poco dissipative tale valore è pari a 1,5 (in realtà a rigore di ragionamento dovrebbe essere 1, ma nella versione attuale dell'Eurocodice 8 e delle Norme Tecniche tale valore minimo del fattore di struttura è stato portato appunto a 1,5 per tenere conto del contributo dissipativo favorevole dato dalla presenza di strutture secondarie).

L'introduzione del fattore di struttura ci consente pertanto di calcolare agevolmente le forze sismiche di progetto agenti sulla struttura:

$$F_{sd} = \frac{S_e(T_0, \nu) \times a_g \times m}{q}$$

dove:

$S_e(T, \nu)$ è l'ordinata dello spettro di risposta elastico, funzione del periodo proprio della struttura e del suo rapporto di smorzamento elastico

a_g è il valore massimo dell'accelerazione di picco al suolo, definita in funzione della zona sismica in cui viene costruito l'edificio;

m è il valore totale delle masse proprie e portate dell'edificio;

q è il valore del fattore di struttura.

Pertanto tanto maggiore sarà il valore del fattore di struttura, tanto minore sarà il valore delle forze sismiche da considerare nella progettazione, perché si terrà conto della maggiore capacità della struttura di dissipare energia attraverso lo sviluppo di un comportamento duttile.

L'Eurocodice 8 al Cap. 8 e le NTC al paragrafo 7.7 definiscono le tipologie strutturali ammesse in zona sismica ed i corrispondenti valori del fattore di struttura q , dividendo, come per gli altri materiali, le tipologie strutturali ammesse in due classi di duttilità, le strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica (Classe B e valori di q compresi fra 2 e 2,5) e le strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica (Classe A e valori di q compresi fra 3 e 5).

Le Norme Tecniche ammettono anche la progettazione delle strutture nell'ipotesi di comportamento scarsamente dissipativo, per le quali il fattore di struttura q assumerà il valore 1,5.

Tuttavia, mancano totalmente i criteri di gerarchia delle resistenze, i criteri di sovrarresistenza e le regole costruttive per gli edifici multipiano in legno. Nelle strutture di legno in generale e negli edifici di legno in particolare la configurazione dei giunti e le loro modalità realizzative hanno notevole influenza sul comportamento sismico, anche nell'ambito dello stesso sistema costruttivo.

Ma quali possono essere questi criteri per gli edifici multipiano in legno?

A differenza delle azioni verticali che possono interessare solamente una porzione della struttura e alcuni elementi costruttivi, l'azione sismica è un'azione orizzontale che coinvolge la struttura nel suo insieme e pertanto la continuità dei collegamenti fra le diverse porzioni di struttura, in tutte le posizioni, è particolarmente importante e deve essere effettiva sia a trazione che a compressione.

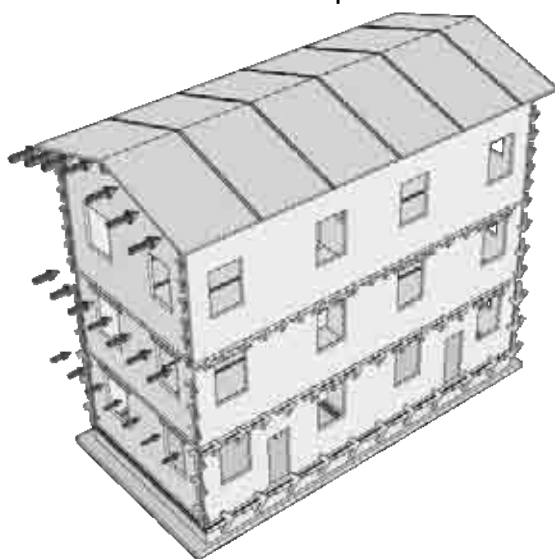


Figura 3.7: Comportamento nei confronti delle azioni sismiche di un edificio in legno.

Dal punto di vista del comportamento sismico, un edificio di legno multipiano, sia esso realizzato con il sistema XLam o con il Sistema Platform, è sostanzialmente assimilabile ad una struttura scatolare in cui le pareti e i solai sono formati da diaframmi rigidi, collegati fra loro mediante collegamenti meccanici.

La concezione strutturale a scatola è quindi alla base della progettazione strutturale.

Nell'ipotesi di comportamento scatolare, quando l'edificio viene investito dall'azione sismica, questa viene trasferita dagli orizzontamenti, considerati rigidi nel proprio piano, alle pareti di piano in funzione della propria rigidezza e da queste ai piani sottostanti fino ad arrivare alle fondazioni.

Naturalmente nell'ipotesi di diaframmi orizzontali rigidi il taglio sismico di piano andrà ripartito fra le varie pareti in funzione della loro rigidezza considerando gli effetti torsionali calcolati sommando all'eccentricità effettiva tra baricentro delle masse e baricentro delle rigidezze un'eccentricità accidentale come prescritto dalla normativa, calcolata spostando il centro di massa di ogni piano in ogni direzione considerata di una distanza pari a $\pm 5\%$ della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica.

Le pareti saranno pertanto caricate da azioni orizzontali nel proprio piano e soggette, per effetto di queste ultime, ad azioni di scorrimento e sollevamento (vedi Figura 3.7) per le quali andranno verificati i corrispondenti elementi di collegamento (hold-down e angolari metallici e/o viti e/o tirafondi).

Nel caso di una parete di un edificio Platform andrà verificata anche la resistenza della parete a taglio nel piano, verificando il collegamento chiodato dell'intelaiatura ai pannelli strutturali di rivestimento.

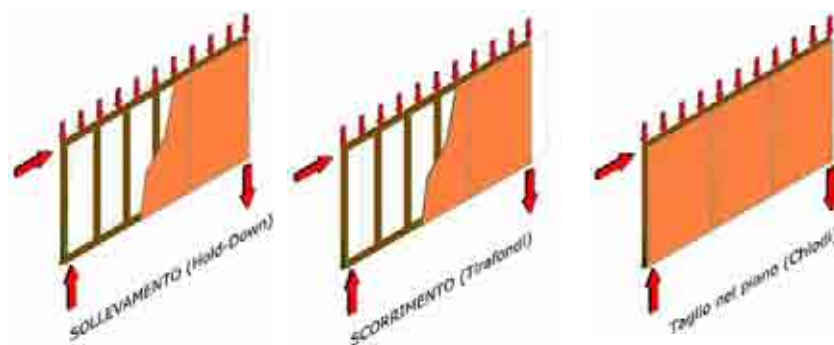


Figura 3.8: Meccanismi di funzionamento di una parete Platform caricata da azioni orizzontali nel proprio piano.

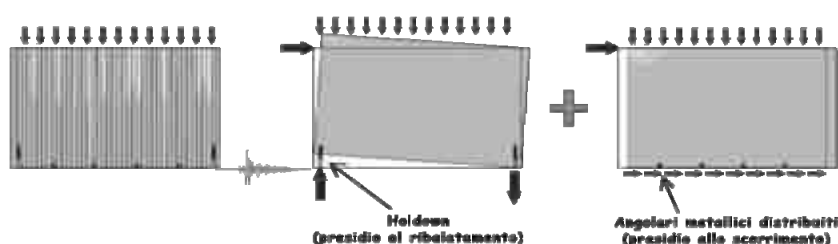


Figura 3.9: Meccanismi di funzionamento di una parete XLam caricata da azioni orizzontali nel proprio piano.

Nel caso di una parete XLam, è utile ricordare che la deformazione di un sistema parete realizzato con pannello di legno a strati incrociati fissato con unioni meccaniche è causata principalmente dalla deformazione delle unioni meccaniche (angolari lavoranti a taglio ed hold-down lavoranti a trazione) che può essere dell'ordine del centimetro, mentre la deformazione a taglio del pannello resta sotto il millimetro, quindi ai fini pratici si può schematizzare il pannello infinitamente rigido nel proprio piano collegato con unioni meccaniche deformabili.

Per entrambi i sistemi si può considerare la rigidezza di ciascuna parete proporzionale alla lunghezza della parete stessa solo se le caratteristiche costruttive della parete (nel caso del sistema Platform, il numero e lo spessore di pannelli di rivestimento strutturale, il diametro e l'interasse dei chiodi) le connessioni, sia quelle verticali fra singoli pannelli che compongono la parete nel caso di parete formata da più pannelli che quelle orizzontali fra parete e solai, sono uniformemente distribuite lungo tutte le pareti a ciascun piano.

Le sollecitazioni sismiche agenti sui vari elementi strutturali possono essere calcolate per edifici rispondenti ai criteri di regolarità strutturale in pianta ed elevazione enunciati dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, secondo un'analisi statica lineare considerando l'azione sismica agente nelle due direzioni principali ortogonali e assumendo il primo modo di vibrare dell'edificio come una distribuzione di spostamenti che aumentano in maniera lineare al crescere dell'altezza dell'edificio.

In alternativa, per edifici non rispondenti ai criteri di regolarità strutturale, è necessario eseguire una analisi dinamica (lineare o non lineare a seconda dei casi) e pertanto l'edificio andrà modellato nel suo insieme schematizzando sia le pareti a pannelli che le unioni meccaniche, nell'ipotesi di diaframmi rigidi. E' possibile effettuare una

modellazione in campo lineare sufficientemente affidabile con diversi software agli elementi finiti disponibili in commercio, schematizzando le pareti mediante elementi shell ai quali vanno opportunamente definite le caratteristiche di rigidezza a taglio e a compressione equivalente, e le connessioni meccaniche mediante elementi biella di rigidezza equivalente.

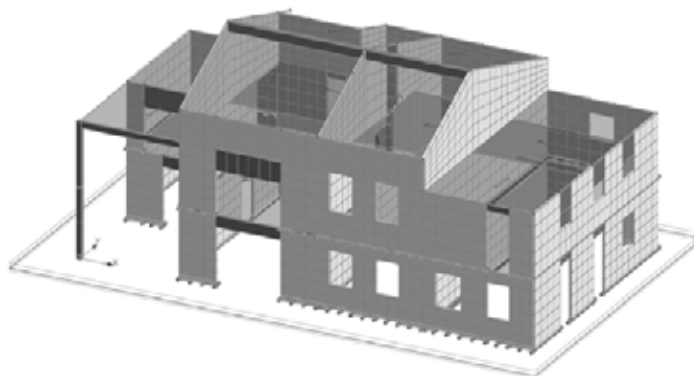


Figura 3.10: Modello numerico per l'analisi dinamica di un edificio a pannelli a strati incrociati.

Allo scopo di garantire il comportamento scatolare dell'intero organismo strutturale è necessario che non intervengano prima cedimenti per perdita di geometria locale o globale, cioè la scatola strutturale non si apra ma resti connessa.

A tale scopo alcune connessioni fra i diversi elementi strutturali devono essere dotate di adeguate riserve di sovrarresistenza in maniera tale da rimanere sempre in campo elastico evitando eccessive deformazioni, in modo da consentire, in accordo con il criterio della gerarchia delle resistenze, agli elementi e alle connessioni a comportamento duttile di dissipare l'energia trasferita dal sisma. Queste sono:

- la connessione fra i pannelli del solaio in modo da assicurare la pressoché totale assenza di scorrimento relativo e garantire l'ipotesi di diaframma rigido;
- la connessione fra solaio e sottostante parete in modo che ad ogni piano ci sia un diaframma rigido al quale le sottostanti pareti risultano rigidamente connesse e che quindi faccia da cintura di piano;
- la connessione verticale fra pareti che si intersecano fra loro, in particolare agli spigoli dell'edificio, in maniera che la stabilità delle pareti stesse e dell'intera scatola strutturale risulti sempre garantita.

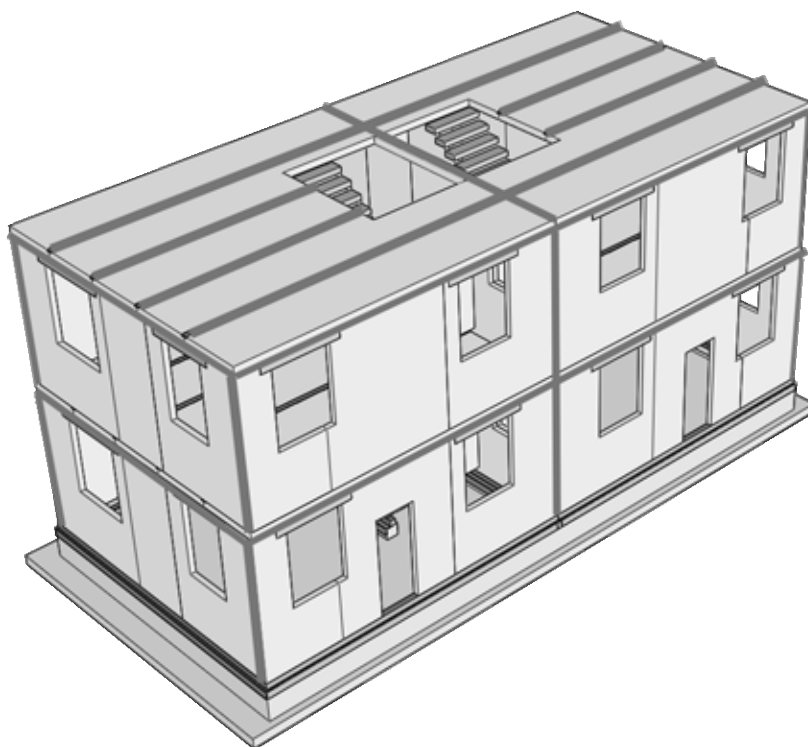


Figura 3.11: Connessioni che in un edificio a pannelli devono essere dotate di sovrarresistenza (evidenziate in grigio scuro) al fine di garantire il funzionamento della scatola strutturale.

Gli elementi che invece sono devoluti alla dissipazione di energia attraverso un comportamento duttile e che pertanto vanno progettati, garantendo sufficienti riserve di resistenza, per le relative azioni di progetto sono:

- le connessioni verticali fra pannelli-parete, quando presenti;
- le connessioni a taglio alla base delle pareti;
- le connessioni a sollevamento (hold-down) all'inizio ed alla fine di ciascuna parete ed in corrispondenza delle aperture.

In accordo con il criterio della gerarchia delle resistenze è necessario che questi elementi siano progettati per resistere alle azioni sismiche di competenza, senza effettuare sovradimensionamenti. È quindi importante che la resistenza alle azioni orizzontali sia maggiore ai piani bassi e diminuisca ai piani alti proporzionalmente alla variazione in altezza del taglio di piano; va quindi evitato il sovradimensionamento delle unioni o quantomeno è opportuno adottare un fattore di sovradimensionamento unico a tutti i piani. In

altre parole bisogna progettare in modo che, in linea teorica, a tutti i piani le unioni meccaniche si plasticizzino contemporaneamente. Questo aspetto è importante sia al fine di garantire il necessario livello di duttilità e di dissipazione all'intero organismo strutturale, sia al fine di evitare sovradimensionamenti di queste connessioni rispetto a quelle devolute al mantenimento del comportamento scatolare e che per questo motivo devono garantire una maggiore resistenza.

3.3.3 Concetti generali sul comportamento al fuoco delle strutture di legno

È noto che il legno è un materiale combustibile, questo però non significa che le strutture di legno non possiedano resistenza al fuoco e che siano più vulnerabili rispetto alle strutture di acciaio o di calcestruzzo armato specie se precompresso.

Raramente le strutture di legno contribuiscono in modo sostanziale ad alimentare un incendio ma anzi ne subiscono più spesso le conseguenze, manifestando al riguardo un comportamento almeno non peggiore se non addirittura migliore rispetto a strutture realizzate con altri materiali.



Figura 3.12: Solai di legno non crollato a seguito di un incendio.



Figura 3.13: Trave di legno sottoposta ad incendio. Sotto lo strato carbonizzato il legno è ancora efficiente dal punto di vista meccanico.

A riprova di quanto detto analizziamo gli aspetti salienti del comportamento di un elemento strutturale di legno soggetto ad incendio:

- il legno brucia lentamente, la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione;
- il legno non ancora carbonizzato rimane efficiente dal punto di vista meccanico anche se la sua temperatura è aumentata;
- la rottura meccanica dell'elemento avviene quando la parte della sezione non ancora carbonizzata è talmente ridotta da non riuscire più ad assolvere alla sua funzione portante.

Pertanto la perdita di efficienza di una struttura di legno avviene per riduzione della sezione e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche.

Il processo di carbonizzazione può portare alla rottura dell'elemento strutturale in un tempo compreso fra alcuni minuti primi e alcune ore, ciò in dipendenza della specie legnosa ma soprattutto delle dimensioni originarie della sezione.

Se poi si confronta il comportamento del legno con quello di altri materiali da costruzione più tradizionalmente utilizzati nel nostro paese, verso i quali normalmente non c'è alcun pregiudizio rispetto alla loro resistenza nei confronti dell'incendio non essendo materiali combustibili, si capisce ancora meglio perché il legno non parta svantaggiato, ma anzi al contrario dell'opinione comunemente diffusa possa essere considerato addirittura preferibile:

- gli elementi strutturali di acciaio non bruciano ma il materiale subisce un rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche in funzione della temperatura;
- nelle costruzioni di calcestruzzo armato la resistenza al fuoco è determinata dallo spessore del rivestimento delle armature metalliche (copriferro);
- nelle strutture di legno i punti deboli sono le unioni che presentano elementi metallici a vista come scarpe, piastre, ecc.; queste, se non protette, sono le prime a cedere durante l'incendio.

Resistenza e reazione al fuoco

La resistenza e la reazione al fuoco sono due aspetti molto diversi della sicurezza al fuoco, si ritiene utile richiamarne le definizioni.

Resistenza al fuoco

(D.M.Int. 09/03/2007)

"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":

- 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 è 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.

La resistenza al fuoco è una proprietà della struttura e non del materiale che la compone, dipende dalla geometria, dai carichi agenti e dalle condizioni di esposizione; pertanto è una caratteristica che va valutata caso per caso con opportuni procedimenti di seguito esposti.

Reazione al fuoco

La reazione al fuoco è il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto. In relazione a ciò i materiali sono assegnati alle classi 0, 1, 2, 3, 4 e 5 con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione⁴; quelli di classe 0 sono non combustibili, come l'acciaio ed il calcestruzzo. Il legno ed i prodotti a base di legno hanno reazione al fuoco 3 o 4.

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 posizione, ad esempio il DM 26/08/1992 "Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica" prescrive che nei passaggi quali atri, corridoi e scale è consentito il rivestimento in classe 1 in ragione del 50% della superficie totale (pareti + soffitto + pavimento), la restante superficie dei rivestimenti deve essere di classe 0.

Il grado di reazione al fuoco è una proprietà del materiale che dipende dalla sua stessa natura e dal trattamento superficiale.

Valutazione della resistenza al fuoco

Il requisito di resistenza al fuoco per le strutture generalmente è limitato alla sola stabilità R; esso corrisponde al tempo che trascorre dall'inizio dell'incendio al crollo della struttura ed è espresso in minuti

⁴ In realtà tale classificazione segue secondo gli ultimi decreti ministeriali la denominazione presente nella normativa europea (le cosiddette "Euroclassi" 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.

primi. Il requisito di reazione al fuoco non è richiesto per gli elementi strutturali quali travi e pilastri (L.C. Min. Int. 9/5/89 "Pilastri e travi di legno – Reazione al fuoco").

Per la verità la Lettera Circolare dice: *"limitatamente alle travi e pilastri in legno massiccio o lamellare, non deve essere richiesta la classificazione ai fini della reazione al fuoco"*, non contempla quindi le pareti ed i solai a pannello continuo per i quali attualmente non ci sono chiare indicazioni. È opinione dello scrivente che le superfici degli elementi strutturali a sviluppo superficiale (pareti e solai a pannello), costituiscano una importante frazione della superficie totale del compartimento, debbano essere trattate sia come struttura (resistenza) che come rivestimento (reazione).

La resistenza al fuoco di un elemento strutturale di legno può essere valutata in tre modi (D.M.Int. 09/03/2007):

- prove (metodo sperimentale)
- calcoli (metodo analitico)
- confronti con tabelle (metodo tabellare)

Il metodo sperimentale (prove) prevede le prove in forno su elementi di caratteristiche equivalenti agli elementi di effettivo impiego nella costruzione dello stesso tipo e dimensioni e soggetti agli stessi carichi di progetto.

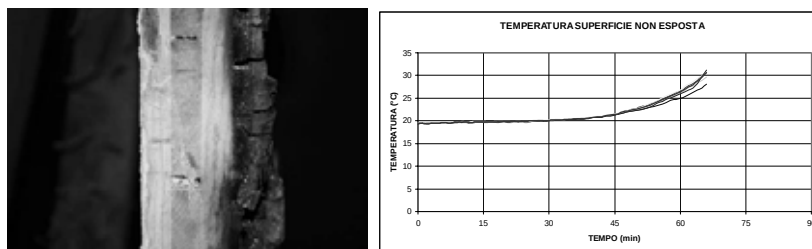


Figura 3.14: Pannello a strati incrociati da 85 mm sottoposto a prova di incendio su forno verticale della durata di 60 min nel 2007 presso il laboratorio di prove al fuoco del CNR-IVALSA a San Michele all'Adige diretto dalla Dott.ssa Giovanna Bochicchio. Nella foto la sezione del pannello al termine della prova; il pannello è formato da 5 strati ognuno di 17 mm, come si nota al termine della prova sono rimasti 3 strati praticamente intatti, pertanto si è avuta una carbonizzazione di 35-40 mm. Nel grafico a destra la variazione di temperatura durante la prova sulla superficie non esposta; mentre sulla faccia esposta al fuoco le temperature sono arrivate quasi a 1000 °C; sulla faccia non esposta si è avuto un aumento di temperatura di soli 7 °C.

Il metodo analitico (calcoli) si basa su valori di calcolo noti; tali valori sono la velocità di carbonizzazione e la resistenza meccanica, essendo il calcolo da eseguirsi allo stato limite ultimo di collasso.

Nel calcolo analitico della resistenza al fuoco le ipotesi di base sono (per EN 1995-1-2 le ipotesi sono leggermente diverse):

- la carbonizzazione procede perpendicolarmente alle superfici esposte con velocità costante;
- il legno conserva inalterate le proprie caratteristiche di resistenza e rigidità nella parte non ancora combusta;
- la valutazione della capacità portante viene fatta sulla sezione resistente residua trascurando l'arrotondamento degli spigoli;
- il calcolo viene eseguito allo stato limite ultimo di collasso utilizzando quindi le tensioni di rottura.

I valori da assumersi nel calcolo analitico sono espressi in vari documenti (L.C.M.Int. 26/11/90 per la resistenza meccanica e D.M.Int. 8/3/85 per la velocità di carbonizzazione; norma UNI 9504 "Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di legno"), tuttavia i documenti citati devono considerarsi superati in quanto il DM Int. 16/02/2007 nell'allegato C prescrive l'utilizzo degli Eurocodici, in particolare le norme EN 1991-1-2 (Eurocodice 5) "Azioni generali – Azioni sulle strutture esposte al fuoco" e EN 1995-1-2 "Progettazione delle strutture di legno – Progettazione strutturale contro l'incendio".

L'Eurocodice 5 è il miglior documento dal punto di vista scientifico; questo documento fornisce tre metodi di calcolo, il primo dei quali (metodo della sezione efficace) è il più semplice ma anche il più cautelativo; contiene indicazioni esaustive per la protezione dei giunti.

Per il metodo tabellare Il D.M.Int. 09/03/2007 fornisce tabelle solo per:

- murature non portanti
- calcestruzzo armato e precompresso (solette, solai alleggeriti, travi, pilastri e pareti)
- acciaio (travi, tiranti e pilastri)

In generale i metodi tabellari si basano su alcune prescrizioni dimensionali generalmente riferite agli spessori delle protezioni.

Tuttavia nel caso del legno, in virtù delle L.C. 07/12/87 e L.C. 26/11/90, è ammissibile la protezione dei solai con controsoffitti e degli elementi strutturali con legno.

I trattamenti ignifughi e le protezioni

I prodotti *ignifughi* sono delle vernici trasparenti o meno che, applicate sul legno, ritardano l'ignizione, cioè rendono il legno meno facilmente infiammabile e quindi lo abbassano di classe di reazione al fuoco, fino a portarlo in classe 1; per tale motivo sarebbe più opportuno parlare

di prodotti *igniritardanti*. Al momento non esistono in commercio prodotti che rendono il legno non combustibile.

Tali prodotti devono essere omologati, l'omologazione è possibile solo nei confronti della reazione al fuoco.

Il periodo di efficacia del prodotto non può essere superiore a 5 anni, pertanto dopo tale periodo il prodotto deve essere rimosso e riapplicato.

Ritardando l'ignizione in realtà tali prodotti aumentano anche la resistenza al fuoco, tale aumento è però generalmente non superiore ai 10 minuti e pertanto poco utile.

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, ne provocano la marcescenza.

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.

Il carico di incendio per i locali a struttura di legno

Anche la struttura di legno, essendo combustibile, partecipa all'incendio e pertanto costituisce carico di incendio.

Tuttavia nel calcolo del carico di incendio andrà considerata la sola parte di legno che, in base alla velocità di carbonizzazione, si presume venga bruciata nel tempo corrispondente alla classe richiesta. Questo concetto è chiarito nella Lettera Circolare del Ministero dell'Interno del 28 Marzo 2008 "DM 9 Marzo 2007 – Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del CNVFF. Chiarimenti ed indirizzi applicativi".

Essendo però la classe richiesta funzione del carico di incendio, è necessario che il progettista faccia almeno una iterazione: si calcola il carico di incendio prescindendo dalla presenza della struttura di legno, in funzione del carico di incendio si calcola la classe richiesta dell'edificio, si calcola la quantità di legno della struttura che si carbonizza in tale tempo, si ricalcola il carico di incendio e quindi la

classe dell'edificio comprendendo anche il legno della struttura che si carbonizza.

Dall'esame della normativa antincendio si evince che non esiste alcun divieto all'utilizzo del legno per le strutture portanti; per le nuove strutture la possibilità di aumentare la resistenza al fuoco semplicemente aumentando la sezione o proteggendo l'elemento strutturale con legno o altri materiali consente di usare con fiducia il legno anche negli edifici soggetti a prevenzione incendi.

Sicurezza antincendio per gli edifici a civile abitazione

Nell'ambito della prevenzione incendi è stata emanata in Italia una specifica regola tecnica per l'attività di civile abitazione, DM 16/05/1987 n.246 "Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione", contenente i criteri di progettazione della sicurezza antincendio, a prescindere dal tipo di materiale impiegato come struttura portante.

Tale decreto, vigente e cogente, si applica a tutti gli edifici destinati a civile abitazione ed aventi *altezza antincendio*⁵ non inferiore a 12 m, sia nella ristrutturazione di edifici esistenti, sia in caso di nuova costruzione.

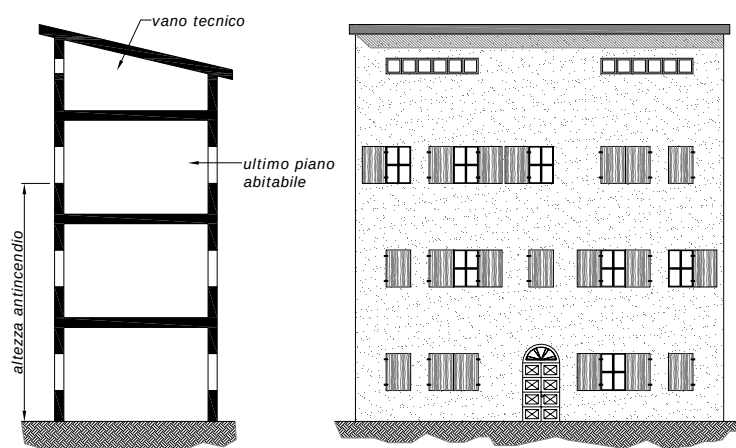


Figura 3.15: Schema dell'altezza antincendio.

Ai fini dell'assoggettabilità ai controlli di prevenzione incendi da parte delle autorità competenti, per gli edifici residenziali si fa riferimento invece all'altezza in gronda; in particolare, nel DM 16/02/1982 si

⁵ DM 30-11-1983: Altezza antincendio = altezza massima misurata dal livello inferiore dell'apertura più alta dell'ultimo piano abitabile e/o agibile, escluse quelle dei vani tecnici, al livello del piano esterno più basso

indica che l'attività n.94, riferita agli edifici destinati a civile abitazione con altezza in gronda superiore a 24 m, è soggetta a visita periodica una tantum.

Nella regola tecnica per i fabbricati residenziali, gli edifici vengono classificati in A, B, C, D ed E in base all'altezza antincendio, che a sua volta è indice di alcune prescrizioni minime progettuali, quali:

- la necessità di accostamento possibile delle autoscale dei Vigili del Fuoco;
- le superfici massime di compartimentazione (max 8000 mq);
- la resistenza minima al fuoco delle strutture portanti e separanti (min R/REI 60);
- la tipologia ed il numero dei vani scala e di almeno un vano ascensore (protetto o a prova di fumo);
- la larghezza minima delle scale (1,05 – 1,20 m);
- la tipologia di comunicazione tra scale, ascensori e locali cantinati pertinenti le abitazioni dell'edificio (diretta, tramite disimpegno, filtro a prova di fumo o spazio scoperto);
- la reazione al fuoco dei materiali di rivestimento di scale e gradini negli androni e nei passaggi comuni;
- il tipo di combustibile utilizzabile negli impianti di produzione di calore;
- la presenza o meno di un sistema di illuminazione di sicurezza;
- la presenza o meno di un sistema di reti idranti;
- la tipologia del gruppo di pompaggio della rete antincendio.

La normativa fornisce inoltre indicazioni circa l'accessibilità all'area dove sorge l'edificio residenziale, le caratteristiche geometriche delle scale di esodo (forma e dimensione di rampe, gradini, ecc.), le superfici minime di aerazione dei vani scala, vani ascensore e locali macchine, le disposizioni per le aree a rischio specifico e per la tematica impiantistica (impianti di produzione di calore, impianti elettrici, impianti antincendio, ecc.).

3.3.4 Comportamento al fuoco di edifici X-Lam

Tenendo conto di quanto detto finora è possibile trarre alcune regole generali sulla progettazione al fuoco di edifici a pannelli portanti a strati incrociati.

Innanzitutto occorre sottolineare come nella normativa italiana attualmente in vigore non esiste alcun divieto alla realizzazione di edifici a struttura di legno anche di molti piani. Esistono delle limitazioni in particolar modo sulla resistenza minima al fuoco delle strutture portanti e separanti che prescindono dal materiale con il

quale la struttura è realizzata e che per un elevato numero di piani (oltre i 50 m di altezza) rendono di fatto più difficile l'utilizzo di strutture portanti in legno.

Resta aperta la discussione se per i pannelli a strati incrociati lasciati a vista debba essere richiesto il requisito di reazione al fuoco, oltre a quello di resistenza. Non c'è una indicazione precisa nella normativa a riguardo, ma occorre considerare che, costituendo i pannelli delle pareti o solai una importante frazione della superficie totale del compartimento, è opportuno che vengano trattati sia come struttura (resistenza) che come rivestimento (reazione).

Per quel che riguarda la velocità di carbonizzazione non esistono ancora valori di riferimento in normativa. L'unico riferimento applicabile parrebbe essere quello della tabella 3.1 dell'Eurocodice 5 parte 1-2, 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.

Ad esempio secondo la EN 1995-1-2 un rivestimento della parete o di un solaio 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).



Figura 3.16: Pacchetti costruttivi per parete e solaio.

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.

Casi di incendio recenti occorsi per cause di varia natura in edifici a struttura di legno a pannelli a strati incrociati hanno dimostrato come in edifici nei quali le strutture portanti non erano lasciate a vista, anche per incendi di durata prolungata, il danno strutturale sia stato molto limitato.

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 3.17: 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).

Pannelli di legno compensato

Il legno compensato è composto da sottili strati di legno incollati fra loro con la fibratura incrociata, è proprio la fibratura incrociata che conferisce al materiale una notevole stabilità dimensionale anche in caso di incendio, per questo motivo tale materiale ha una ottima risposta nei confronti della tenuta al fuoco (requisito "E" della resistenza al fuoco).

Essendo composto principalmente da legno la sua reazione al fuoco è quella del legno (classe 3 o 4 in funzione dello spessore, con particolari vernici lo si può portare in classe 1).

Generalmente il legno compensato in caso di incendio non emette fumi tossici, ciò in dipendenza dei collanti usati.

3.4 SISTEMI COSTRUTTIVI PER L'EDILIZIA IN LEGNO: TIPOLOGIE, CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE, CRITERI DI PROGETTAZIONE

3.4.1 Premessa

La progettazione di un edificio di legno richiede il coordinamento di un gruppo di professionisti specializzati in diverse discipline (progettista architettonico, strutturale, energetico, termotecnico, impiantistico insieme al Geologo e al Tecnologo dei materiali) che tutti insieme devono collaborare fin dalle prime fasi del progetto per poter arrivare alla buona riuscita 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 conoscenze 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.

A questo proposito sono significative le indicazioni contenute nella Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna 1 febbraio 2010, n. 121 dal titolo *"Atto di indirizzo recante individuazione degli interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici e delle varianti, riguardanti parti strutturali, che non rivestono carattere sostanziale e definizione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per la denuncia di inizio attività, ai sensi degli articoli 9, comma 4, e 10, comma 3, della L.R. n. 19 del 2008"*

All'Allegato D *"Documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per la denuncia di inizio attività"* viene specificato: *"...scopo dell'atto di indirizzo è di garantire con evidenza oggettiva che l'attività di progettazione è stata affrontata nel suo complesso e non come somma di attività tra loro disgiunte, al fine di valutare, mitigare e risolvere le reciproche interferenze tra le componenti architettoniche, tecnologiche e strutturali dell'organismo edilizio"*. Viene inoltre specificato che *"nel merito della concezione strutturale e progettazione dell'opera è necessario che questa attività venga affrontata analizzando le esigenze derivanti anche da componenti tipologicamente diverse tra loro che concorrono alla definizione della costruzione nel suo complesso al fine di inserirle in modo organico nell'organismo strutturale, evitando quindi che diverse figure specialistiche agiscano in modo autonomo e senza una visione globale dell'impianto strutturale."*

Proprio per questo la legge introduce fin dall'inizio la figura del progettista strutturale dell'intero intervento, con cui devono rapportarsi le diverse figure specialistiche che eventualmente concorrono, ciascuna per le proprie competenze, alla definizione della progettazione della costruzione con individuazione dei vincoli posti alla base dell'attività di progettazione, perseguendo in tal modo la riduzione del rischio sismico fin dalla prima fase di concezione della costruzione.

Oltre a quanto sopra il ruolo del progettista strutturale dell'intero intervento è anche quello di confrontarsi con i soggetti incaricati della progettazione architettonica e tecnologica (componenti impiantistiche in senso generale) al fine di acquisire i relativi dati in ingresso necessari per valutare l'ammissibilità delle varie esigenze in relazione alle interazioni reciproche e alle interazioni con il sistema strutturale."

La stretta collaborazione fra tutte le figure concorrenti alla progettazione è quindi fondamentale e tutte quante devono interagire con il progettista strutturale. 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 3.18: 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, casserare le travi, effettuare il getto, aspettare la maturazione del getto e disarmare 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 3.19: 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 strutturale 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.

È indispensabile comunque partire dalla conoscenza dei vari sistemi costruttivi esistenti, delle loro caratteristiche costruttive, del comportamento strutturale e dei criteri di progettazione.

3.4.2 I sistemi a pareti portanti: Platform Frame e XLam.

3.4.2.1 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 analoghi e 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 architettonico è quella di progettare un edificio regolare che non lo sembri affatto.

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.

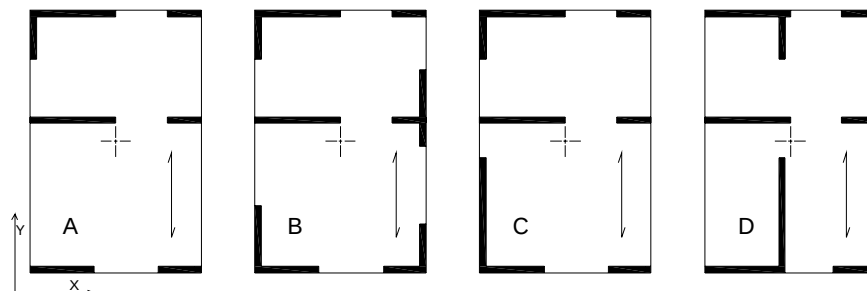


Figura 3.20: Configurazione in pianta degli elementi verticali resistenti alle azioni orizzontali. A - NO. Insufficienti pareti in direzione Y, non si può realizzare. B - SI. Sufficienti pareti in ambedue le direzioni. C - Sufficienti pareti in ambedue le direzioni, tuttavia le pareti in direzione Y 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 3.4, 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.

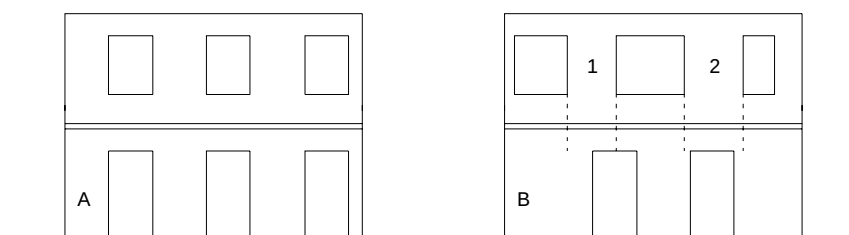


Figura 3.21: Configurazione in prospetto. A - Configurazione ottimale, i setti murari sono allineati ai vari piani. B - Il setto 1 non trova valido appoggio alla sua destra. Il setto 2, pur non trovando corrispondenza al piano inferiore, ha validi appoggi da ambedue i lati.

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 fare in modo da avere appoggi sufficienti.

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

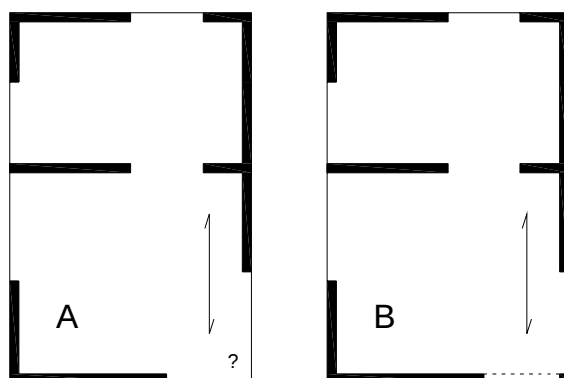


Figura 3.22: Disposizione in pianta dei solai. Nel caso A il solaio non trova appoggio nel punto "?";

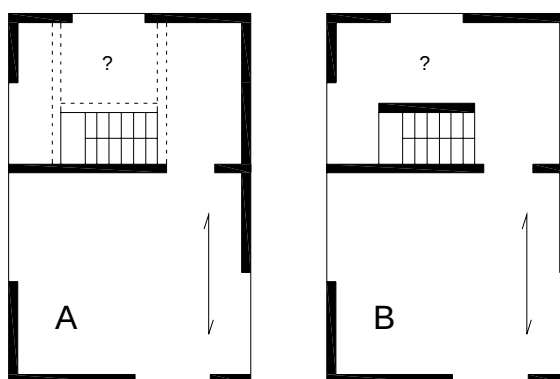


Figura 3.23: Disposizione in pianta dei solai. L'apertura del vano scale deve essere rinforzata con travi (tratteggiate) come in A, oppure deve essere presente un muro per appoggiare il solaio come in B.

Relazioni con parti strutturali non in legno

L'edificio di legno ha bisogno di fondazioni di calcestruzzo armato oppure può essere il completamento superiore di un edificio 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.

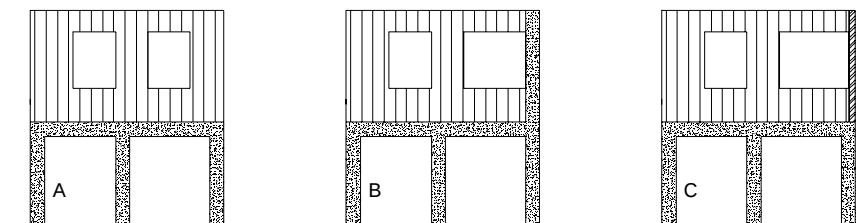


Figura 3.24: Prospetto. A - SI. Il piano inferiore è di calcestruzzo armato, il piano superiore di legno, la struttura è sovrapposta. B - NO. Al piano superiore come elementi resistenti alle azioni orizzontali c'è sia calcestruzzo armato che legno, la struttura è mista. C - SI. al piano superiore la struttura di legno è sufficiente a resistere alle azioni orizzontali, il pilastro di acciaio si inserisce solo per portare.

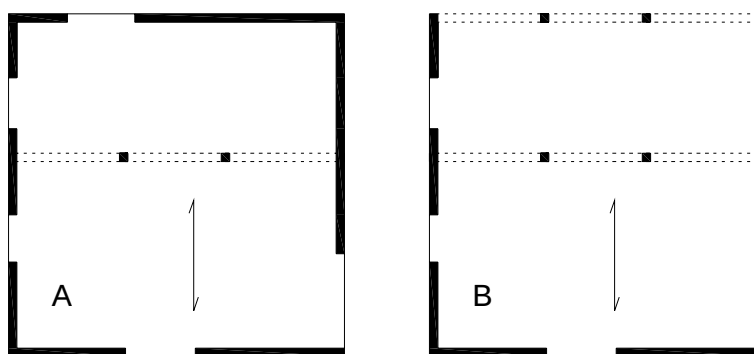


Figura 3.25: Pianta. A - Sì. Il telaio centrale serve solo a portare i carichi verticali facendo da supporto intermedio al solaio. B - NO. Le pareti presenti non sono sufficienti a resistere alle azioni orizzontali, non è ammissibile che i telai partecipino insieme alle pareti alla resistenza alle azioni 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.

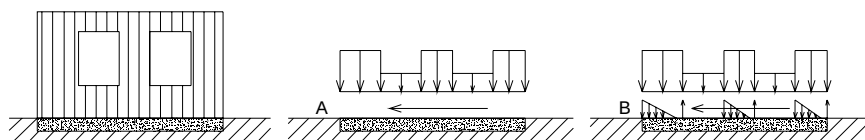


Figura 3.26: Sollecitazioni sulle fondazioni. A - La schematizzazione non è corretta. B - Schematizzazione corretta ma estremamente complessa da descrivere.

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.

L'analisi dinamica va necessariamente effettuata su tutto l'edificio, non è possibile condurla separatamente su porzioni dell'edificio.

L'analisi dinamica necessita della costruzione di un unico modello agli elementi finiti di tutto l'edificio mediante un programma di analisi strutturale.

Non ci sono altre possibilità, pertanto in questo caso è necessario che l'intera progettazione strutturale la faccia un solo Tecnico.

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.

Sopraelevazioni

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

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.

3.4.2.2 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.

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 (permanenti 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.

3.4.2.3 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 durabile (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-clc.

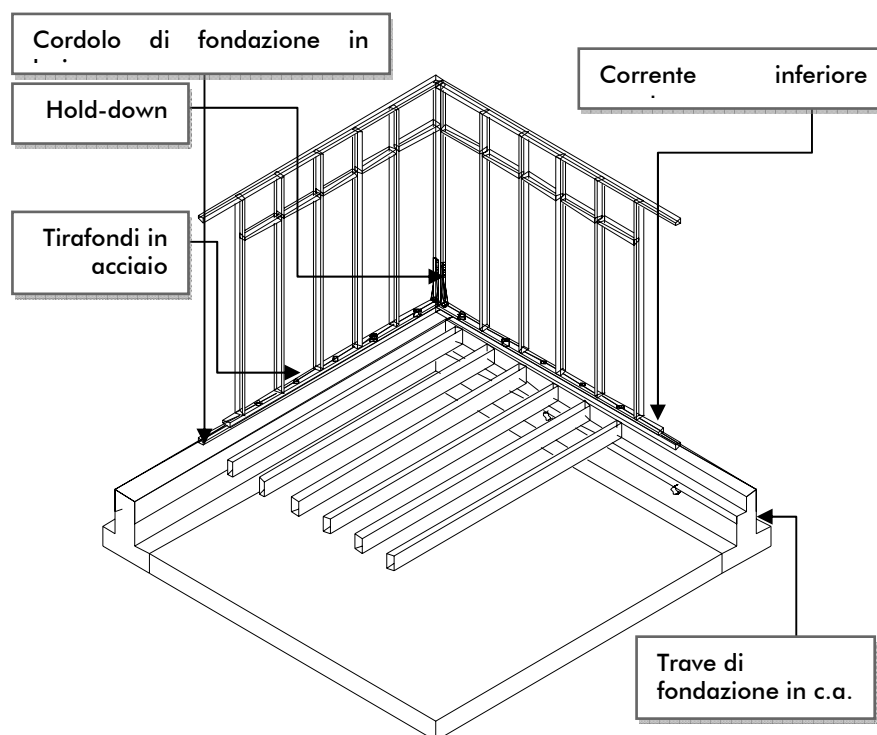


Figura 3.27: Collegamento alle fondazioni per un edificio Platform Frame.

Sopra il cordolo viene collegata la **parete** formata da una intelaiatura di legno, generalmente massiccio ma anche lamellare in funzione delle sezioni necessarie, formata da elementi tutti della stessa sezione e costituita da un correntone 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.

Ad un lato dell'intelaiatura, generalmente quello esterno, o anche ad 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.

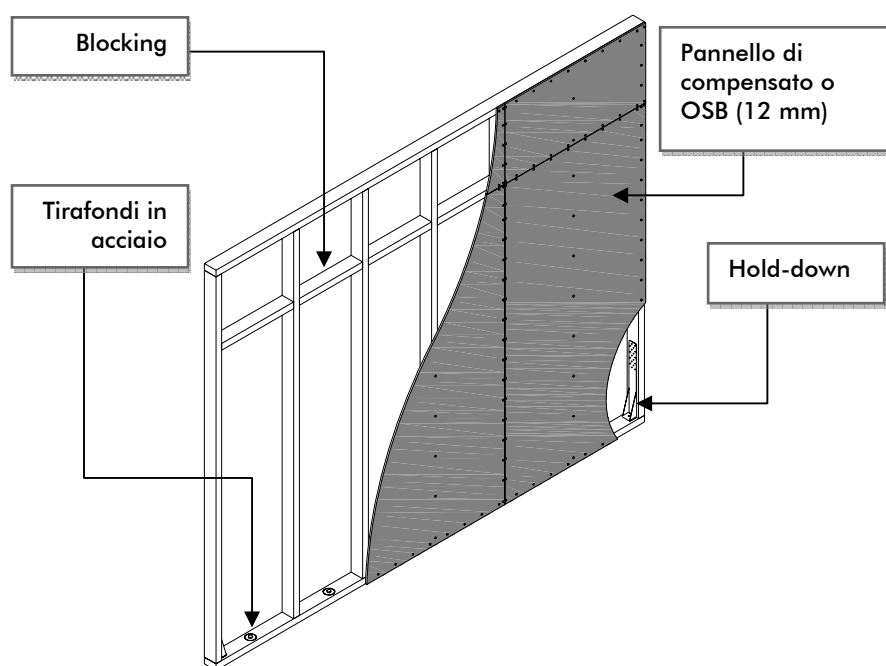


Figura 3.28: Dettaglio strutturale di una parete Platform con collegamento del pannello strutturale di compensato/OSB tramite chiodi e elementi di collegamento alla fondazione.

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 3.28.

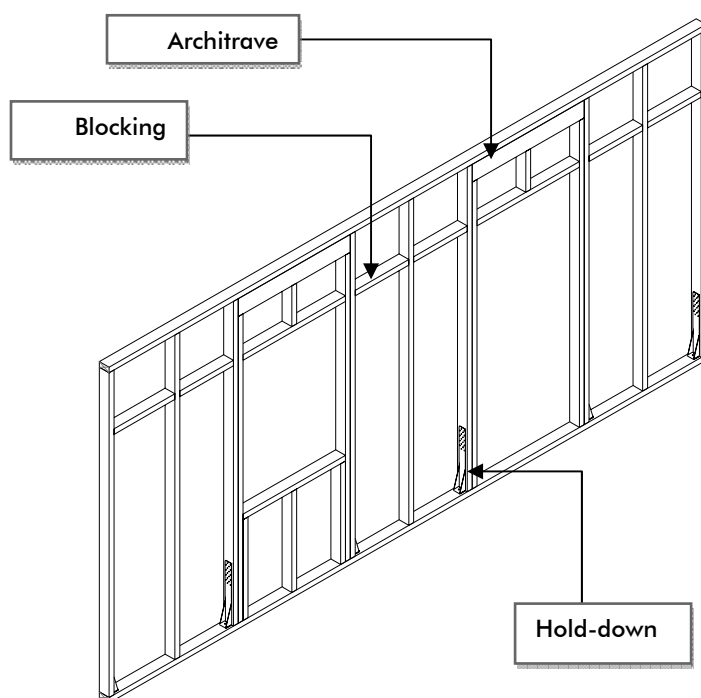


Figura 3.29: Dettaglio del telaio della parete con aperture per porte e finestre.

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 nella direzione del piano della parete è impedita dal pannello strutturale a base di legno di rivestimento collegato a questi ultimi con i chiodi. L'instabilizzazione per carico di punta può avvenire solamente nel piano ortogonale alla parete, e 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.

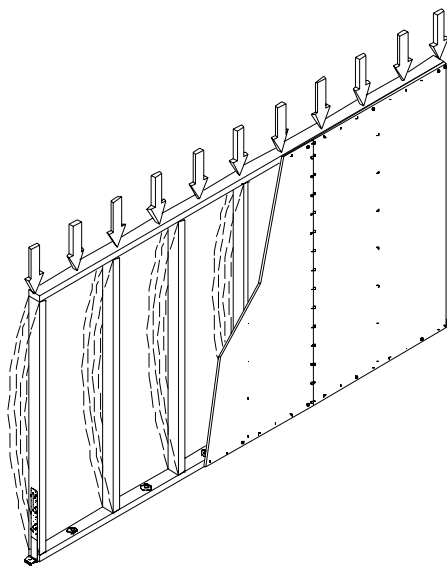


Figura 3.30: Parete Platform soggetta a carichi verticali. La resistenza è devoluta ai montanti verticali che si possono instabilizzare solo nel piano ortogonale alla parete, in quanto l'instabilizzazione nel piano della parete è impedita dai pannelli di rivestimento strutturale.

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.

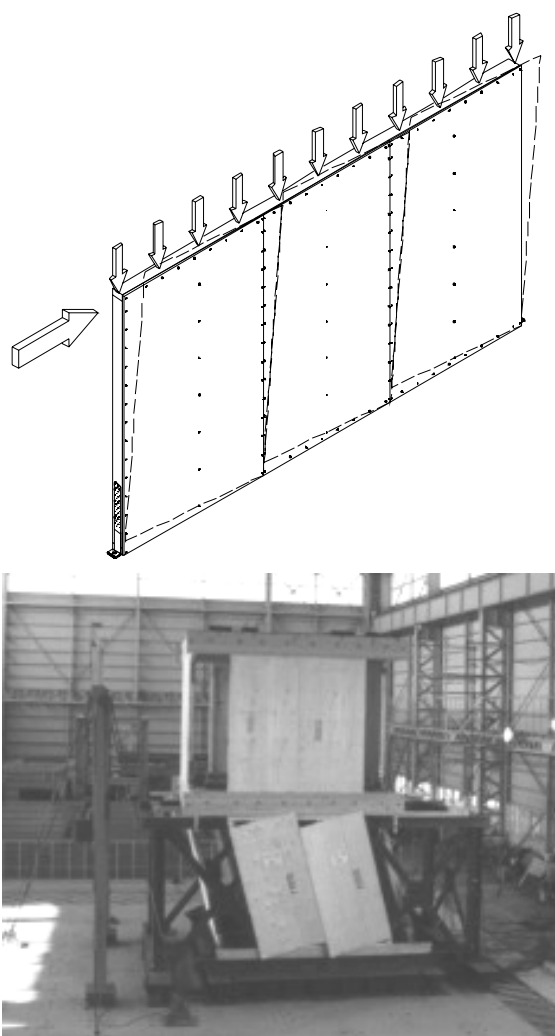


Figura 3.31: Parete Platform soggetta ad azioni orizzontali nel piano e edificio di due piani arrivato al collasso a seguito di una prova sismica su tavola vibrante. La resistenza a taglio nel piano della parete è data dalla resistenza a taglio dei collegamenti chiodati della parete al telaio.

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, 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.

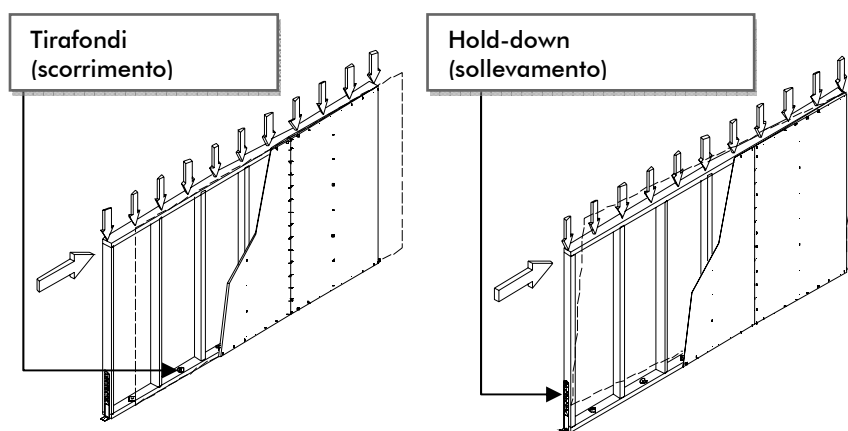


Figura 3.32: Parete Platform soggetta ad azioni orizzontali nel piano. Le azioni di scorrimento e sollevamento vengono contrastate mediante tirafondi e hold-down (nota: per chiarezza in questo disegno gli hold-down sono posizionati all'esterno del telaio della parete, ma solitamente vengono posizionati al suo interno).

Le azioni orizzontali ortogonali al piano della parete vengono assorbite per area di influenza dai montanti verticali che vengono quindi sollecitati a presso-flessione.

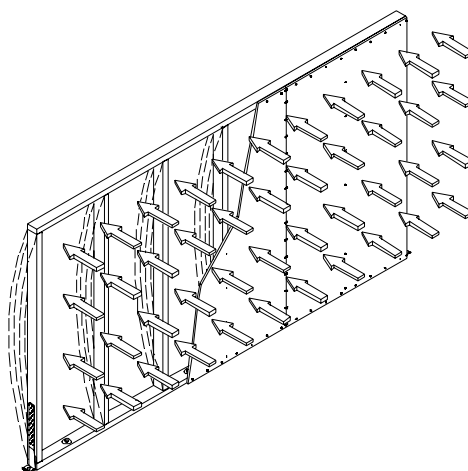


Figura 3.33: Parete Platform soggetta ad azioni orizzontali ortogonali al piano.

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.

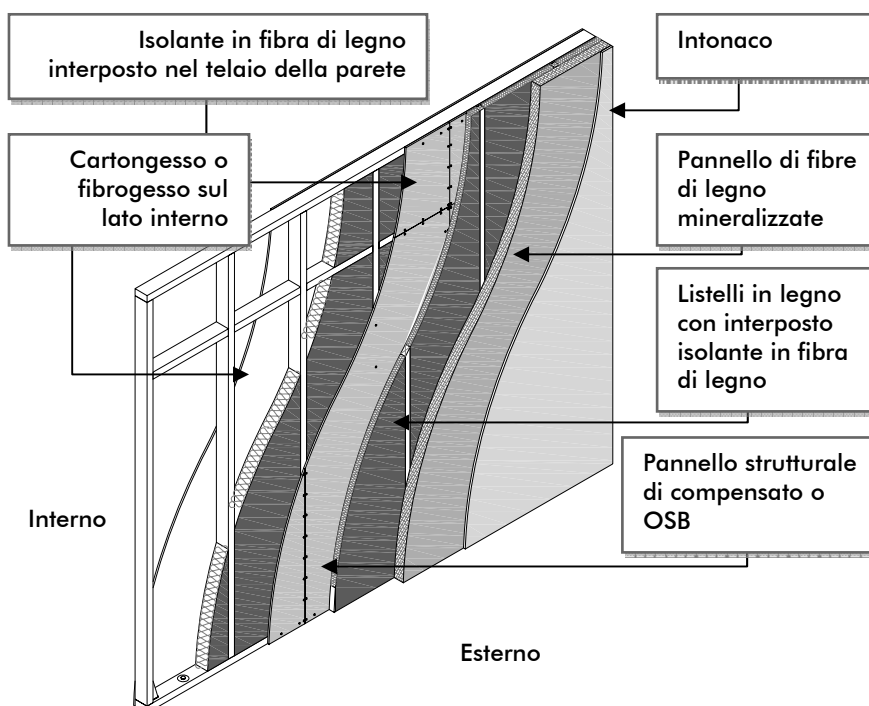


Figura 3.34: Parete Platform completa.

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.

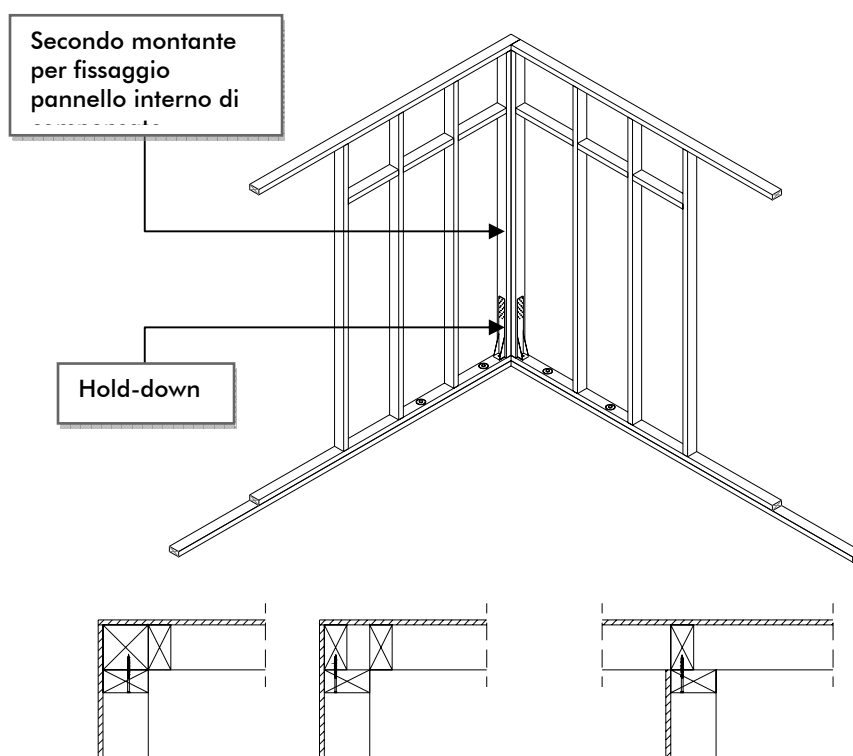


Figura 3.35: Collegamento d'angolo.

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 **solaio**. 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 solaio 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 solaio è poi completata da un cordolo disposto lungo il perimetro del solaio.

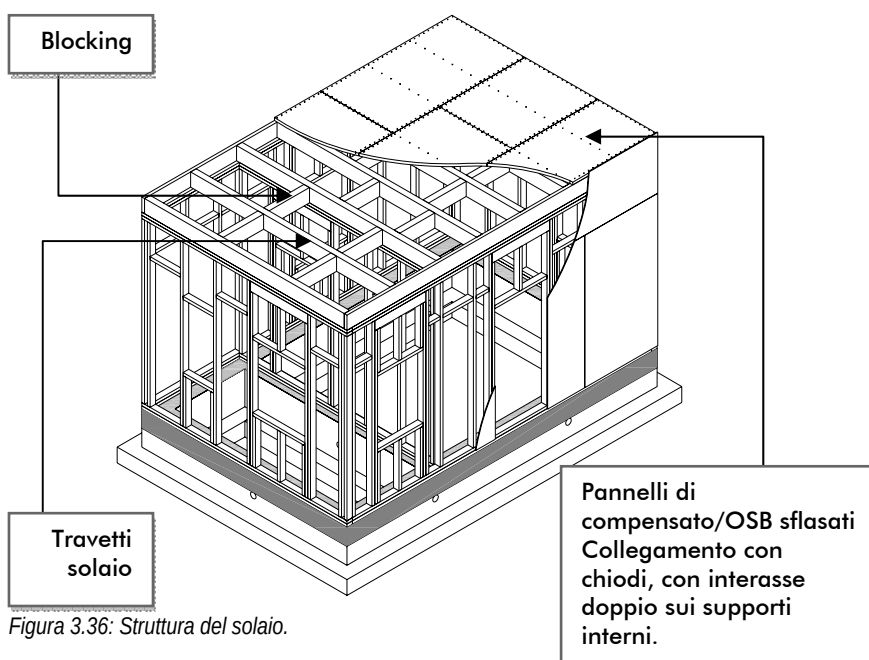


Figura 3.36: Struttura del solaio.

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 collegato 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.

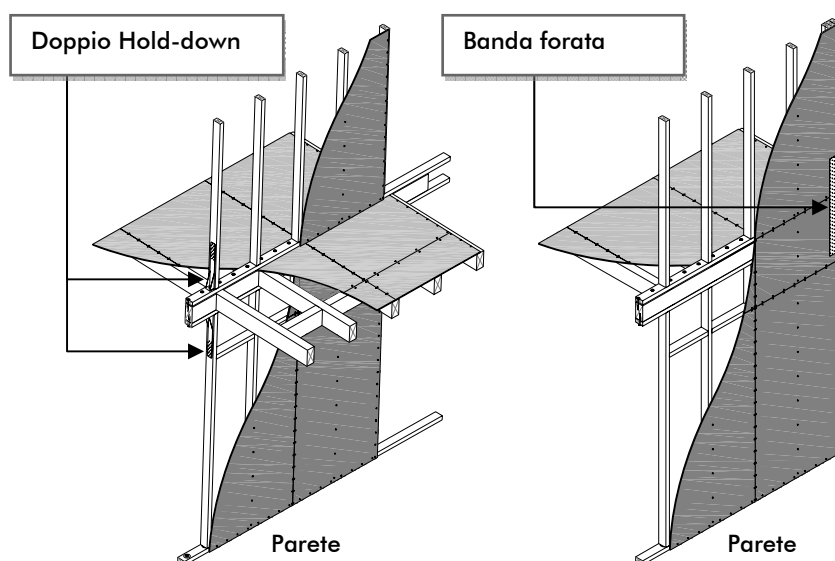


Figura 3.37: Collegamenti di interpiano pareti esterne e interne.

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.

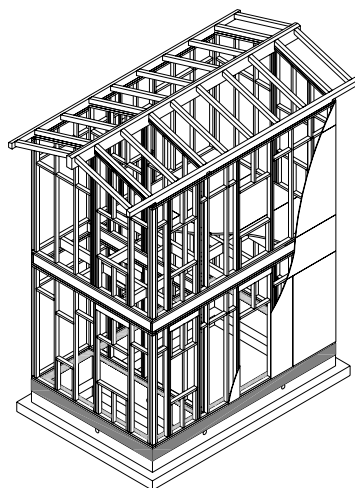
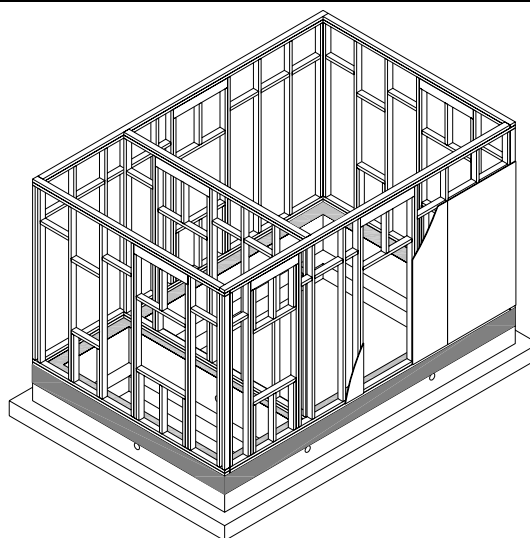


Figura 3.38: Copertura con struttura tradizionale a travi.

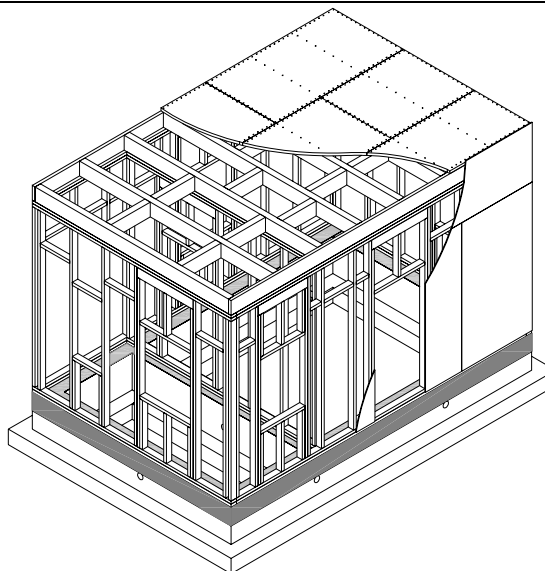
Riassumendo le fasi di **montaggio** di un edificio Platform Frame possono essere schematizzate con la procedura seguente:

FASE 1: realizzazione cordoli o travi rovesce di fondazione in c.a., posa guaina e montaggio cordolo di legno.	An isometric line drawing of a rectangular concrete foundation slab. A wooden formwork (cordolo) is shown around the perimeter of the slab, which is resting on a base. The drawing illustrates the initial stage of foundation construction.
---	---

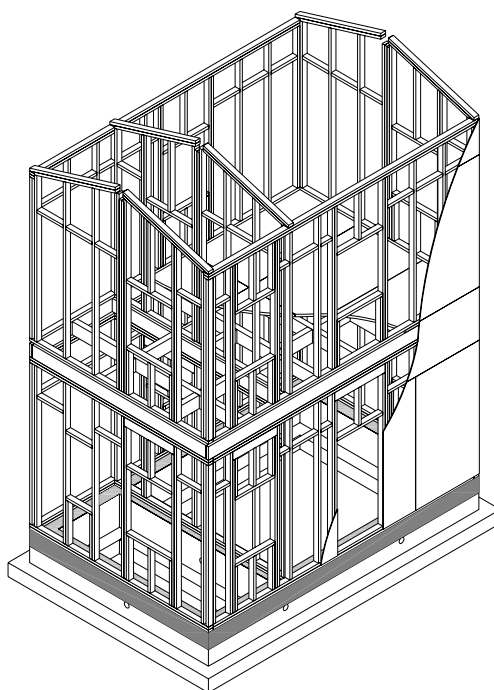
FASE 2: posa e collegamento pareti piano terra e secondo cordolo superiore di collegamento.



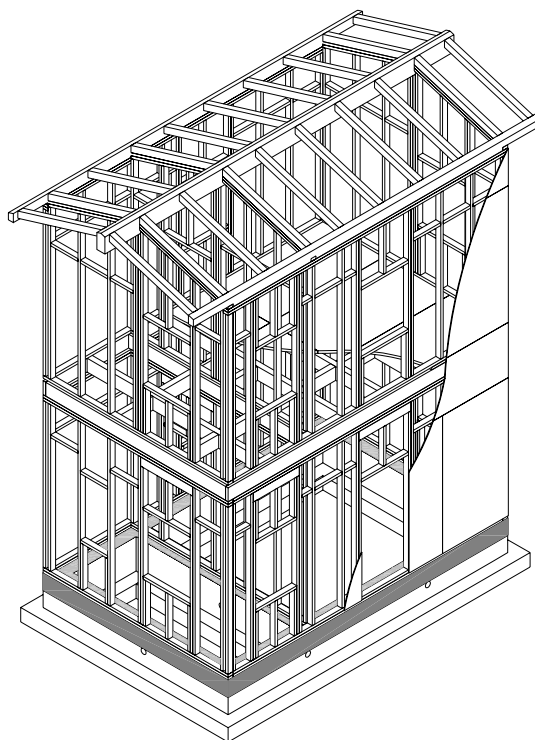
FASE 3: posa solaio formato da travi principali, blocking, pannelli strutturali a base di legno e cordolo esterno.



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.

Per il sistema XLam, il collegamento alle fondazione 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.

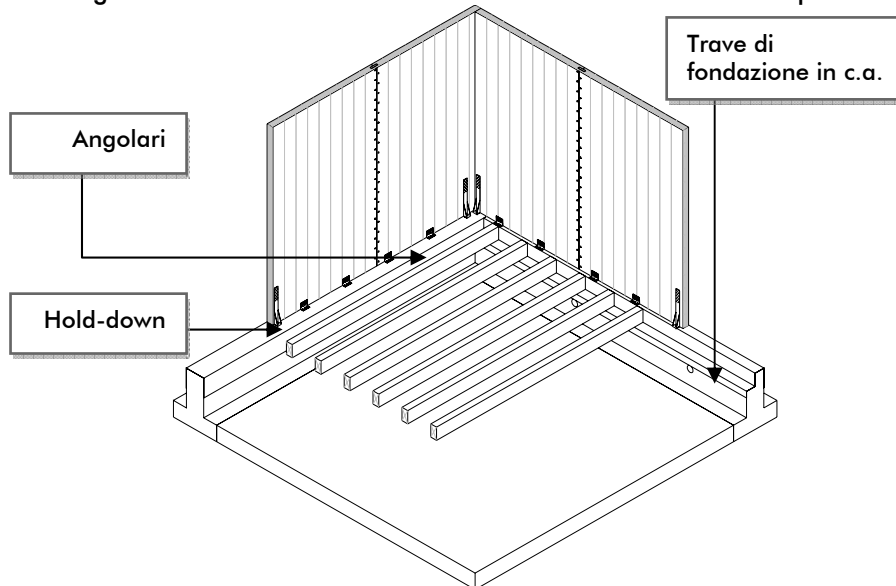


Figura 3.39: Collegamento alle fondazioni per un edificio XLam con angolari metallici distribuiti e hold-down.

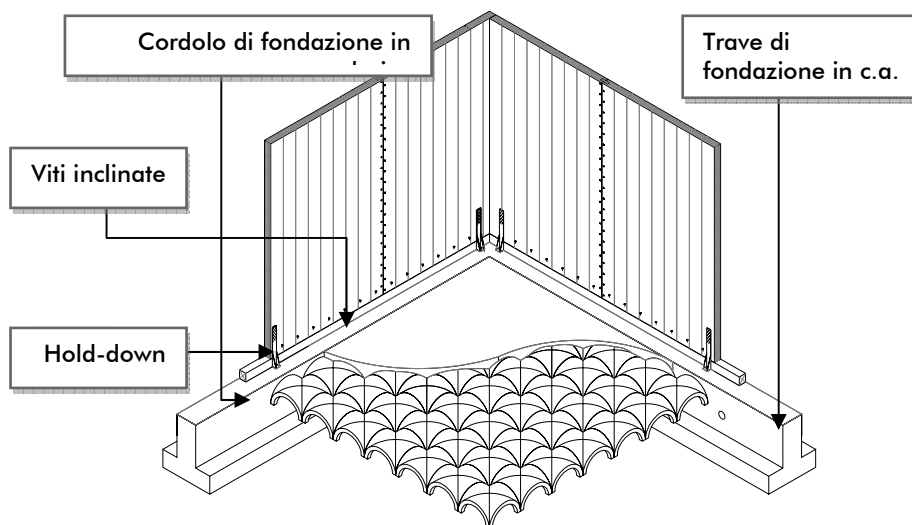


Figura 3.40: Collegamento alle fondazioni per un edificio XLam con cordolo di larice, tirafondi, viti e hold-down.

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.

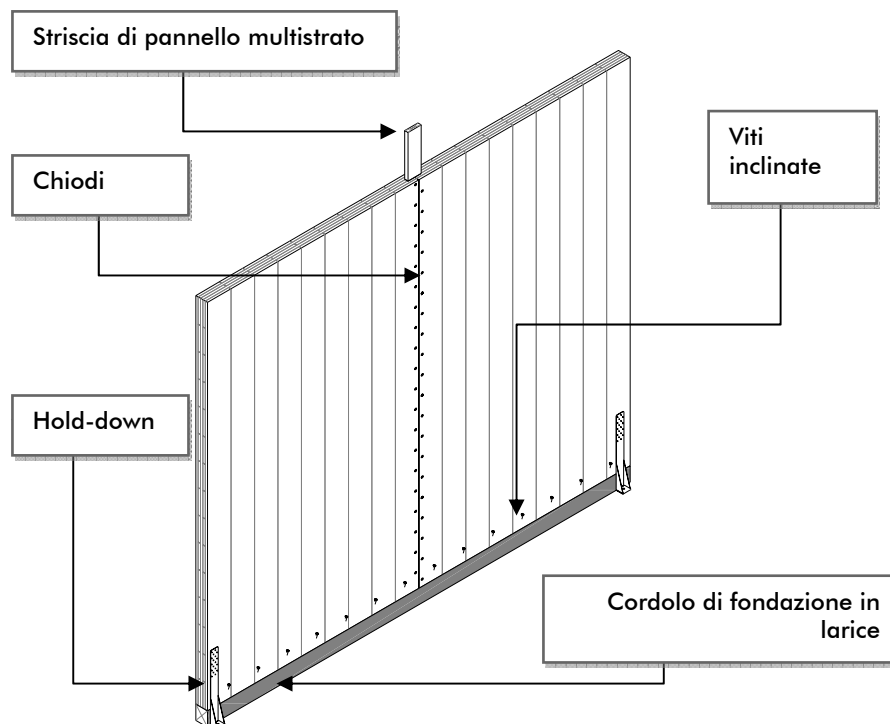


Figura 3.41: Dettaglio di una parete XLam con giunto verticale tra i pannelli tramite viti autoforanti o chiodi.

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 pretagliando direttamente il pannello in stabilimento.

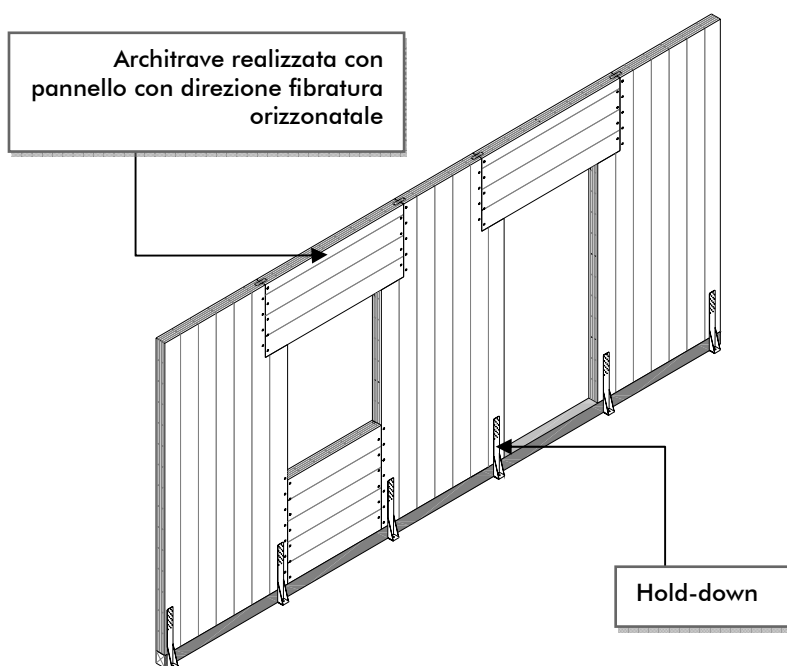


Figura 3.42: Dettaglio parete con aperture per porte e finestre.

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.

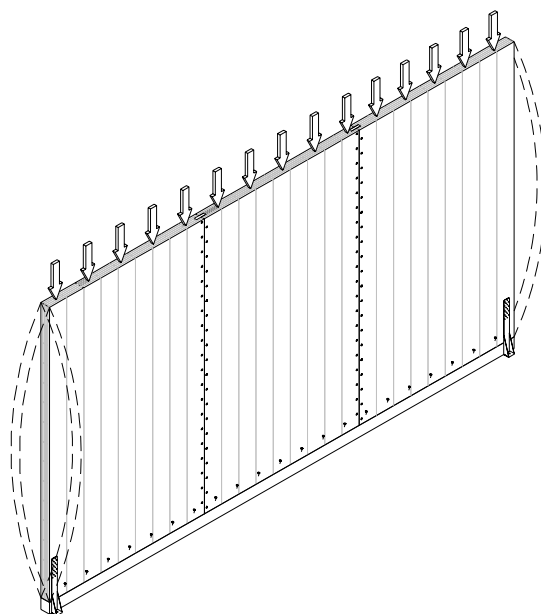


Figura 3.43: Parete XLam soggetta a carichi verticali.

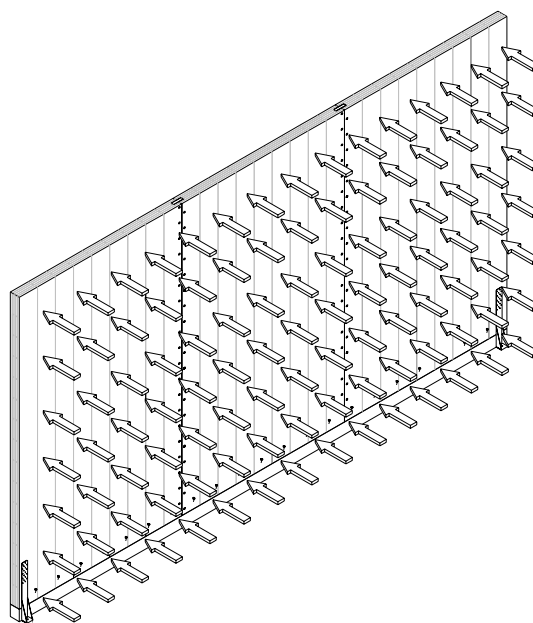


Figura 3.44: Parete XLam soggetta ad azioni orizzontali ortogonali al piano.

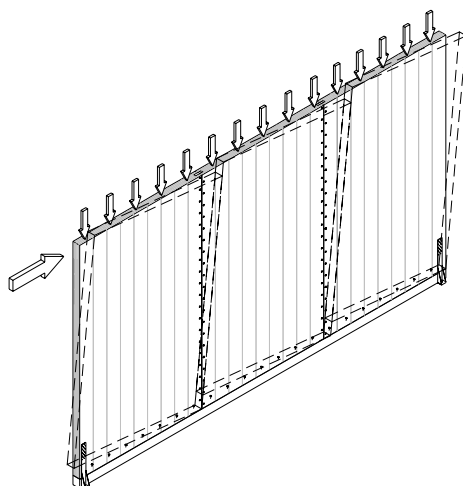


Figura 3.45: Parete XLam soggetta ad azioni orizzontali nel piano. La resistenza a taglio nel piano della parete è data dalla resistenza a taglio dei collegamenti chiodati tra pannelli.

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 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.

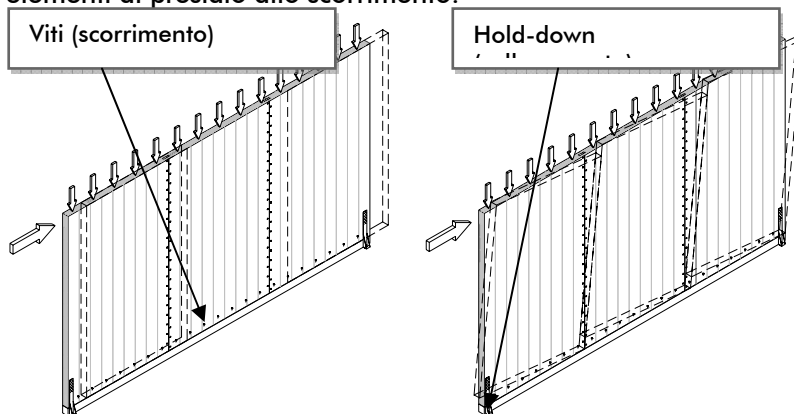


Figura 3.46: Parete XLam soggetta ad azioni orizzontali nel piano. Le azioni di scorrimento e sollevamento vengono contrastate mediante viti inclinate collegate al cordolo di larice e hold-down.

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.

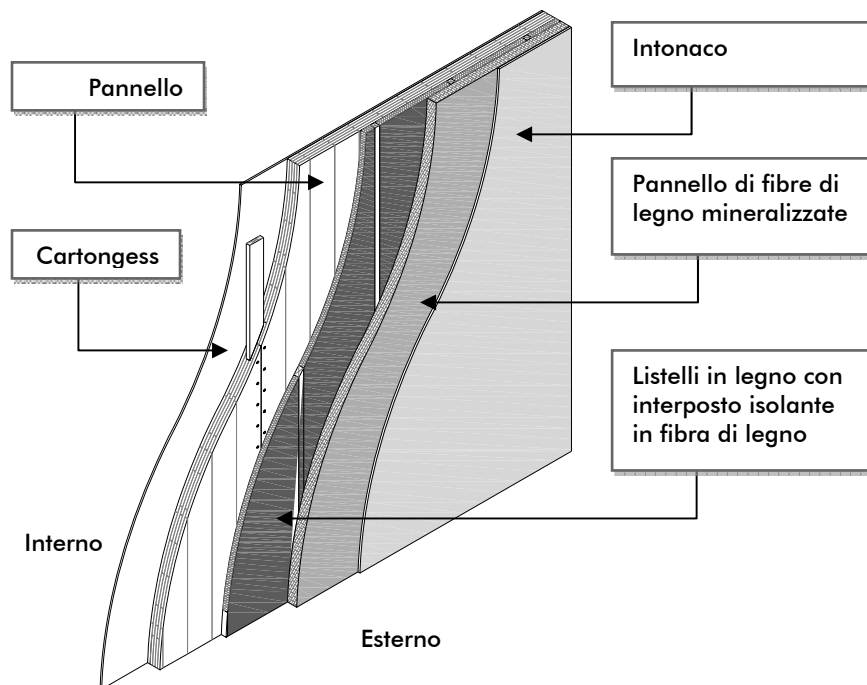


Figura 3.47: Parete XLaM completa.

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

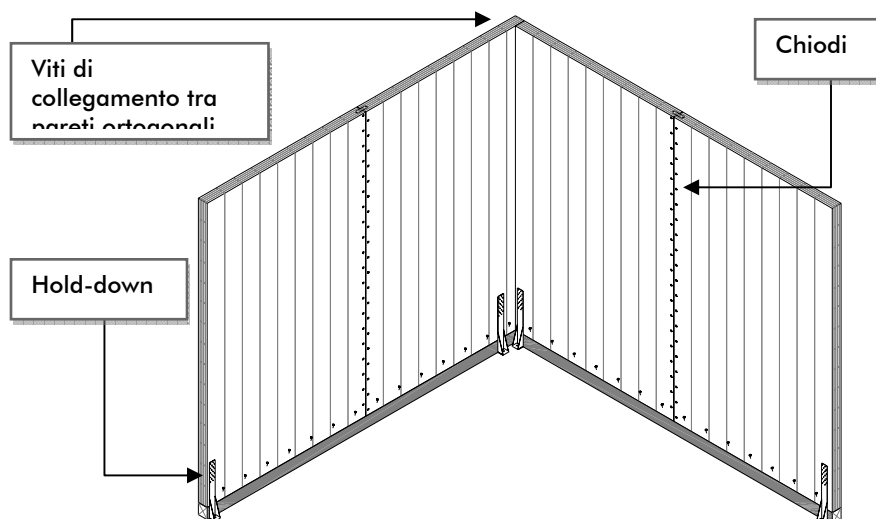


Figura 3.48: Collegamento d'angolo.

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 280 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.

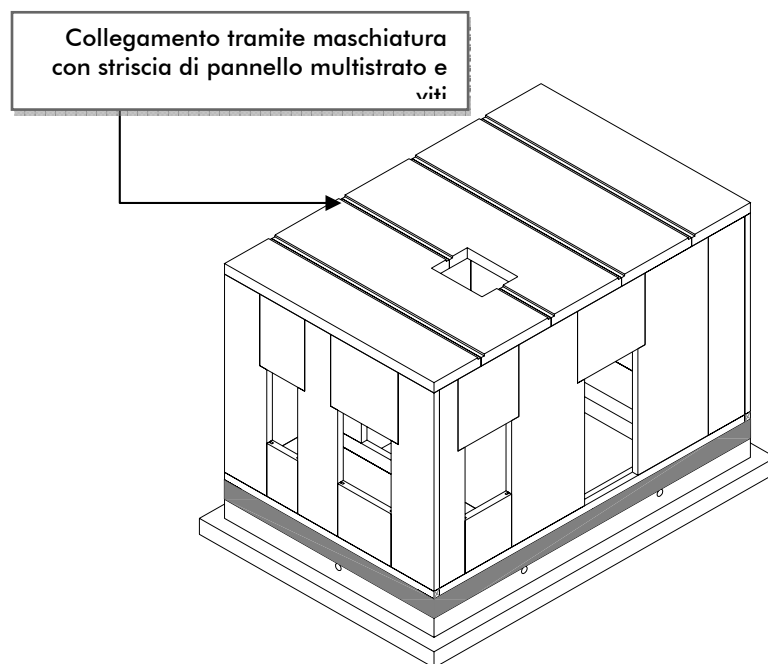


Figura 3.49: Posa del solaio di interpiano.

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 collegato 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.

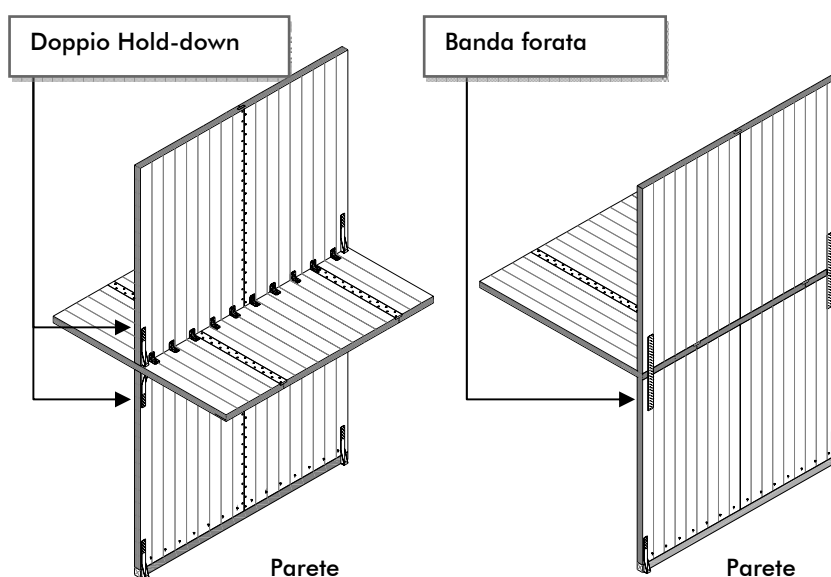


Figura 3.50: Collegamento pareti di interpiano.

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.

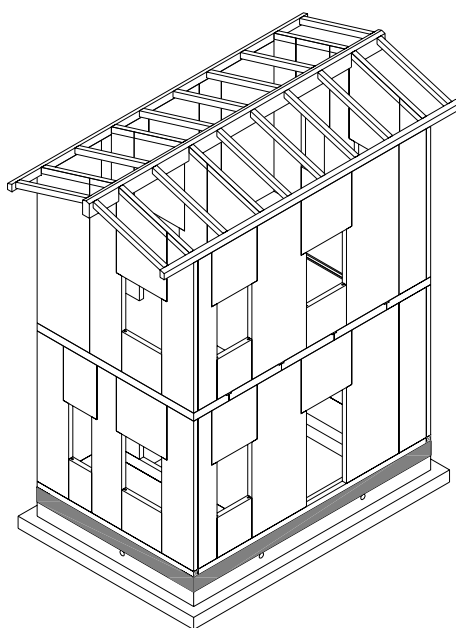
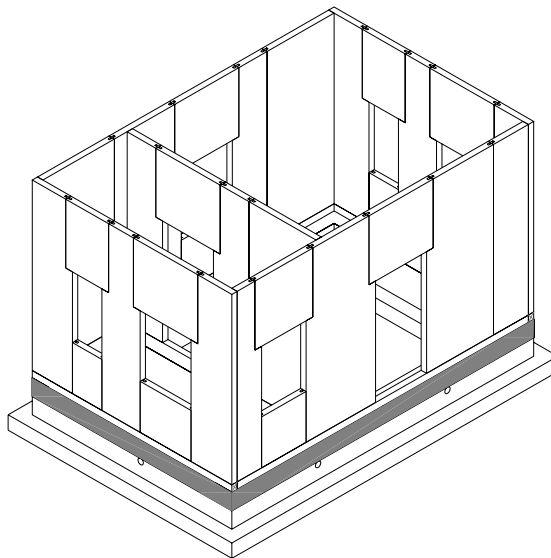


Figura 3.51: Pareti piano primo.

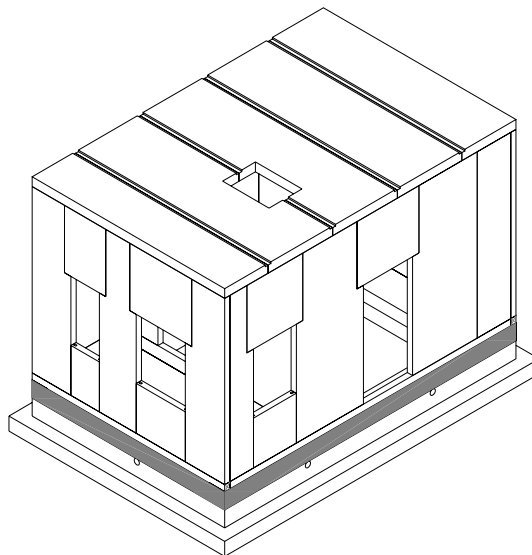
Riassumendo le fasi di **montaggio** di un edificio Platform Frame possono essere schematizzate con la procedura seguente:

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

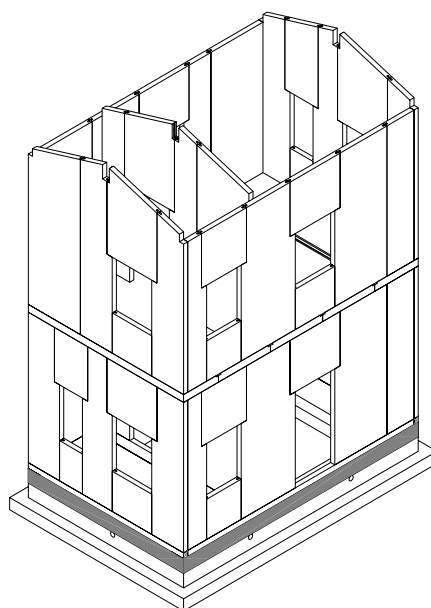
FASE 2: posa e collegamento pareti piano terra.



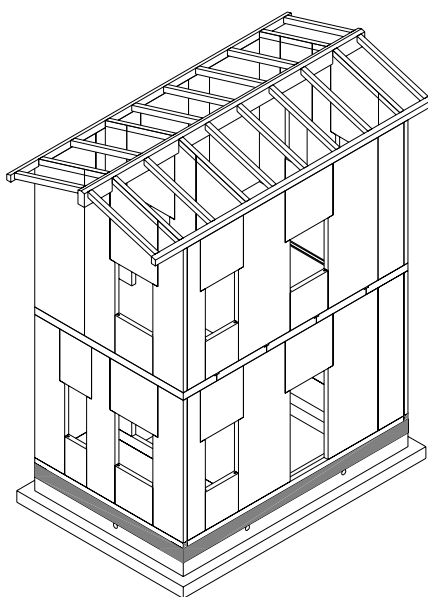
FASE 3: posa solaio formato a pannelli e collegamento tra pannelli e alle pareti sottostanti.



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



FASE 5: montaggio copertura.



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A.A.V.V. – “Linee Guida per l’edilizia in legno in Toscana” – A cura della Direzione Regionale della Presidenza della Regione Toscana– Settore Edilizia Sostenibile – Firenze, 2009
- [2] A. Ceccotti, M. Follesa, M.P. Lauriola – “Le strutture di legno in zona sismica: criteri per la progettazione e il restauro” II Ed. – C.L.U.T. Editrice – Torino, 2006
- [3] D.M. II.TT. - 14/01/08 "Norme tecniche per le costruzioni".
- [4] CNR DT 206/2007 "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno".
- [5] UNI EN 1990: Eurocodice. "Criteri generali di progettazione strutturale".
- [6] UNI EN 1991-1: Eurocodice 1 - "Azioni sulle strutture".
- [7] UNI EN 1995-1-1: Eurocodice 5 - "Progettazione delle strutture di legno - Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici".
- [8] UNI EN 1995-1-2: Eurocodice 5 - "Progettazione delle strutture di legno - Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio."
- [9] UNI EN 1998-1: Eurocodice 8 - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azione sismica e regole per gli edifici."
- [10] UNI EN 338 - "Legno strutturale - Classi di resistenza".
- [11] UNI EN 1912 - "Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie".
- [12] UNI EN 1194 - "Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici".
- [13] UNI 11035 - "Legno strutturale - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per tipi di legname strutturale".

Efficienza energetica e comfort degli edifici in legno

4.1 ISOLAMENTO TERMICO E RISPARMIO ENERGETICO

L'Italia da decenni è la nazione, in Europa, meno attenta alla questione dell'isolamento termico.

Nella Figura 4.1 si riportano gli spessori medi utilizzati nei vari paesi dell'Unione Europea: si mette in evidenza la posizione arretrata del nostro paese.

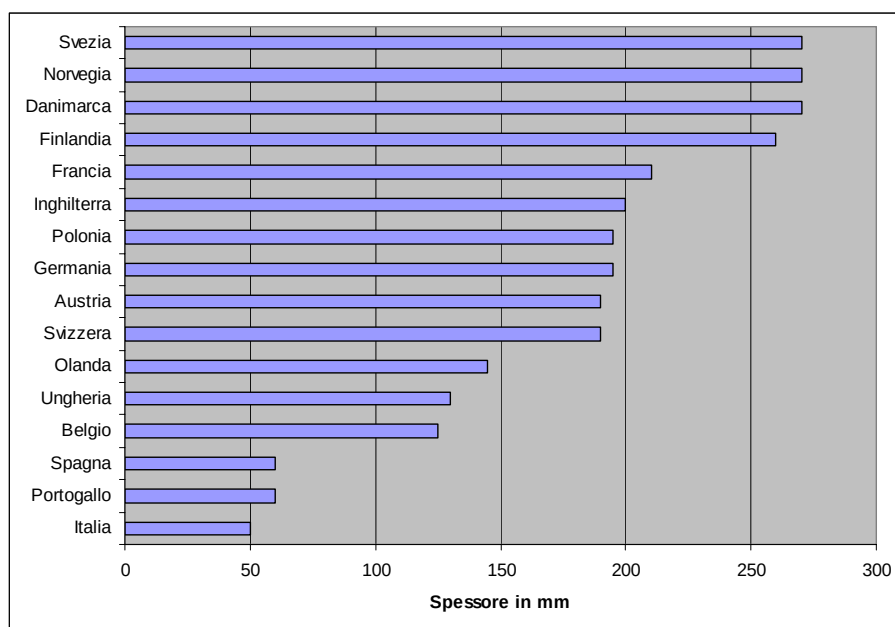


Figura 4.1: Grafico indicante gli spessori medi di isolante in copertura - paesi EU (fonte : Eurima)

Le motivazioni di ciò si devono ricercare nella disattenzione del legislatore nei confronti della buona qualità dell'abitare, ma anche in una certa inerzia da parte di chi (università, tecnici e costruttori) avrebbe dovuto avere maggiore interesse per la crescita e l'innovazione del settore delle costruzioni. È mancata invece la volontà di uscire dallo stretto perimetro disegnato da norme oggettivamente inadeguate, al fine di cercare soluzioni progettuali ed applicative che accrescano la qualità ed il comfort delle abitazioni.

Gli strumenti legislativi che hanno "regolato" il settore in questi anni hanno poi preso in considerazione un solo aspetto del complesso mondo dell'isolamento termico: l'isolamento invernale.

L'approccio così riduttivo a questa tematica ha certamente reso più remoto il raggiungimento degli obiettivi fissati per le emissioni climatiche alteranti ed in generale non ha giovato al contenimento dei consumi energetici.

Allo stato attuale negli edifici (residenziali e terziario) si utilizza circa il 30% dell'energia finale consumata in Italia, il 31% dell'energia elettrica e il 44% dell'energia termica (combustibili).

A questi consumi energetici è riconducibile circa il 28% delle emissioni nazionali di CO₂.

Il 78% dell'energia finale consumata annualmente negli edifici è impiegato per il riscaldamento, il 15% per produrre acqua calda, il 5% per cucinare e per gli elettrodomestici e il 2% per l'illuminazione.

Gli impianti di condizionamento/raffrescamento aumentano mediamente i consumi energetici finali annui di un edificio del 25% (Figura 4.2) e le statistiche ci vedono, dopo la Spagna, i maggiori acquirenti di condizionatori

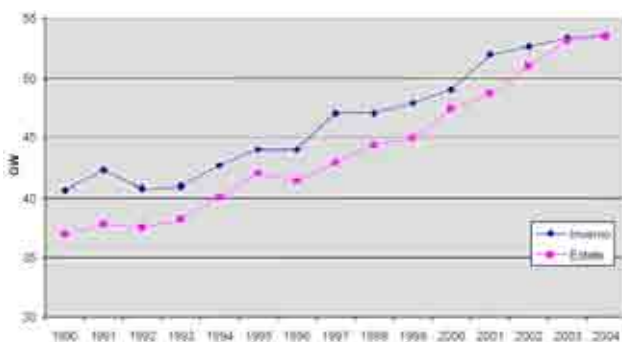


Figura 4.2: Grafico dell'evoluzione della domanda elettrica di picco invernale ed estiva

Queste considerazioni ci pongono di fronte all'obbligo di una attenta ed ampia progettazione dell'isolamento termico.

Per una corretta valutazione di un isolamento termico sarebbe necessario tener conto dei seguenti fattori:

- Isolamento termico invernale
- Isolamento termico estivo
- Valutazione del rischio di condensa superficiale
- Permeabilità al vapore e valutazione del rischio di condensa interstiziale
- Impermeabilità all'aria

Oltre a questi che sono fattori "tecnici - prestazionali", finalizzati al contenimento del dispendio energetico, è necessario tenere di buon conto quanto la scelta del materiale concorre alla definizione di

ambienti confortevoli e salubri. Gli europei passano il 90% della loro vita all'interno di un edificio, che sia abitazione o scuola o luogo di lavoro. Ciò fa sì che sia necessaria una attenta analisi di quanto, questi materiali, incidono sulla qualità ambientale.

Questo significa studiare approfonditamente quali rischi per l'ambiente e per l'uomo comporta la scelta di un materiale sia nelle fasi di produzione e smaltimento, ma anche qual è il comportamento del materiale durante il normale esercizio, quali sono le interazioni di questo materiale con i materiali da costruzione con cui viene a contatto, come si comporta interagendo con le sostanze normalmente presenti in un edificio e come reagisce in caso di eventi straordinari (incendio, allagamenti ecc).

La Progettazione dell'isolamento termico nelle costruzioni in legno non ha metodologie o tecniche differenti da quelle utilizzate nelle strutture in muratura o miste (muratura e c.a.).

Il legno è un materiale ad alte prestazioni e con una durabilità che non ha pari tra i materiali da costruzione; condizione fondamentale, per conservare inalterate nel tempo queste peculiarità, è il rispetto di alcune semplici regole. Una di queste regole, strettamente legata alla valutazione della quantità, qualità e posizionamento della coibentazione termica, riguarda la gestione dell'umidità all'interno della struttura e gli eventuali fenomeni di condensa interstiziale.

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 vari processi degenerativi - descritti dettagliatamente nel capitolo dedicato alla manutenzione e preservazione - con conseguente e spesso irreparabile degradazione delle strutture lignee.

Anche nella progettazione di strutture in muratura non si può prescindere da una corretta valutazione termo-igrometrica. In caso di umidità eccessiva, anche queste tipologie costruttive, soffrono di problemi di integrità con l'avvio di processi di ammaloramento estremamente accelerati. Va sottolineato che la presenza di umidità eccessiva in un edificio, qualunque sia la tecnica costruttiva utilizzata, prima ancora di danneggiare gli elementi costruttivi, determina un sensibile decadimento delle prestazioni termiche della costruzione e un ambiente malsano per i suoi abitanti.

L'introduzione delle costruzioni in legno sul mercato italiano può essere vista come un'opportunità per la disseminazione di cultura tecnica sia in fase progettuale che realizzativa, che sta alla base del buon costruire, qualunque sia il materiale scelto.

4.1.1 - 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); si definisce come "il rapporto, in condizioni stazionarie, fra il flusso di calore (misurato in W) che attraversa una superficie e il gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore stesso.

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 4.1: Conduttività termica di alcuni materiali

Un materiale viene considerato isolante quando ha un λ inferiore a 0,065 W/m²K.

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 4.2: Conduttività termica di alcuni materiali isolanti

La misurazione del λ di un materiale avviene in condizioni di temperatura e di umidità definite dalla normativa di riferimento. La norma ISO EN UNI 10456 fornisce i parametri ed i metodi per l'adeguamento delle prestazioni del materiale, quando le condizioni di progetto siano differenti da quelle in cui è stato eseguito il test.

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 composta si calcola come la sommatoria delle singole resistenze:

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

In questo calcolo viene inserita anche la resistenza termica offerta dallo strato di aria che lambisce le superfici interna ed esterna. Questa resistenza si dice *Resistenza Liminare* (interna o esterna). I valori di queste resistenze sono normati nella UNI EN ISO 6946 a seconda della direzione del flusso di calore e della velocità dell'aria in prossimità della superficie: quindi si avranno resistenze diverse a seconda che si esamini una copertura, una parete o una parete ventilata.

Per descrivere la quantità di calore che attraversa un elemento costruttivo, esiste un parametro detto *Trasmittanza Termica* (simbolo U). Si misura in $W/m^2\ K$, 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:

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

Il miglior isolante esistente in natura è l'aria ferma ed asciutta; per questo motivo gli isolanti contengono sempre grandi quantità di aria intrappolata all'interno della loro struttura (tra le fibre, nelle cellette, tra le sfere ecc). Per contro, un pessimo isolante, abbondantemente presente intorno a noi, è l'acqua.

Quindi si deve prestare molta attenzione che l'aria ferma ed asciutta, presente negli isolanti, non sia sostituita, per condensa o altro motivo, da acqua.

Vista la necessità di contenere una grande quantità di aria, normalmente, un buon isolante non è un materiale con buone caratteristiche di resistenza meccanica, così come i materiali comunemente usati per le strutture hanno dei coefficienti di conduttività termica molto alti (cemento armato ha un λ di 2,30 W/m^2K).

A questa regola fa eccezione il legno che, pur essendo un ottimo materiale strutturale, ha un λ 0,13 W/m^2K .

Per capire come si comporta il legno rispetto alla conduzione del calore, basta confrontarlo con alcuni dei principali materiali da costruzione-

Materiale	Conduttività Termica [W/mK]	Massa volumica [kg/m³]
Mattone pieno	0,70	1400
Mattone doppio UNI	0,40	913
Blocco porizzato 30x25x25	0,19	770
Muratura in pietra	2,30	2600
Cemento armato	2,30	2300
Calcestruzzo CLS	1,65	2200
Legno di conifere	0,13	500

Tabella 4.3: Conduttività Termica dei materiali da costruzione

Per visualizzare in maniera semplice i dati contenuti nella tabella 1, immaginiamo di costruire una parete verticale opaca con ognuno dei materiali elencati, ponendoci come obiettivo il raggiungimento di una trasmittanza (U) di 0,20 W/m²K variando lo spessore del materiale.

Il procedimento di calcolo è il seguente:

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

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

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

dove

U = Trasmittanza parete

R_{tot} = sommatoria delle resistenze termiche dei vari strati (R_{strati})

$R_{lim\ est} - R_{lim\ int}$ = resistenze liminari interne ed esterne

d = spessore dello strato

λ = Conduttività Termica del materiale costituente lo strato

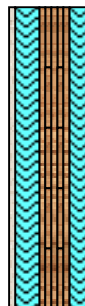
Materiale	Conduttività Termica (w/mk)	Spessore m
Mattone pieno	0,7	3,35
Mattone doppio UNI	0,27	1,90
Blocco porizzato 30x25x25	0,18	0,90
Muratura in pietra	2,3	11,00
Cemento armato	2,3	11,00
Calcestruzzo CLS	1,65	7,90
Legno di conifere	0,13	0,62

Tabella 4.4: Spessori necessari per $U = 0,20$

Dalle tabelle precedenti si ricava che il legno è, tra i materiali strutturali, quello che ha la migliore Conduttività Termica (λ). Questa peculiarità del legno si evidenzia particolarmente nelle strutture a pannelli portanti.

Ipotizzando una parete composta così composta:

- Doppio pannello di fibrogesso
- Materassino di canapa
- Pannello di X Lam 100 mm
- Pannello coibente fibra di legno
- Rasatura traspirante esterna



	Materiale	Spessore mm	Massa kg/m³	λ W/mK
Interno				
1	Fibrogesso	10 + 10	1.620	0,320
2	Canapa	60	38	0,038
3	X-Lam	100	550	0,130
4	Fibra di legno	100	190	0,040
5	Intonaco	7	1.150	0,680
Esterno				

Tabella 4.5: Esempio di stratigrafia parete X-Lam

Calcolando la Resistenza termica di ciascuno strato, secondo la formula

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

dove:

R = spessore (in metri)

λ = Conduttività Termica

otteniamo:

	Materiale	Spessore mm	λ W/mK	R
Interno				0,130
1	Fibrogesso	10 + 10	0,320	0,062
2	Canapa	60	0,038	1,579
3	X-Lam	100	0,130	0,769
4	Fibra di legno	100	0,040	2,500
5	Intonaco	7	0,680	0,010
Esterno				0,040
			ΣR	5,091

Tabella 4.6: Esempio di stratigrafia parete X-Lam. Prestazioni

Resistenza Totale = 5,091

Da cui, secondo la formula $U = 1/R_t$

$$U = 0,20$$

Se si volesse raggiungere lo stesso risultato di trasmittanza termica sostituendo l'elemento strutturale in legno con mattone pieno, si otterrebbe questa stratigrafia di parete:

	Materiale	Spessore mm	λ W/mK	R
Interno				0,130
1	Fibrogesso	10 + 10	0,320	0,029
2	Canapa	60	0,038	1,579
3	Mattone pieno	721	0,700	1,030
4	Fibra di legno	100	0,040	2,500
5	Intonaco	7	0,680	0,010
Esterno				0,040
			ΣR	5,091

Tabella 4.7: Esempio di stratigrafia parete tradizionale. Prestazioni

Quindi la parete passerebbe da 29 cm di spessore e 114 kg di peso, ad uno spessore di 91 cm e 496 kg di peso!

Un altro aspetto fondamentale è l'omogeneità della struttura. Nel caso, ad esempio, si stia valutando una struttura a pannelli strutturali (X-Lam) si può contare addirittura su elementi strutturali che assolvono anche il compito di tamponamento esterno.

Per apprezzare il valore di questo aspetto, si deve confrontare una parete intelaiata con materiali tradizionali (c.a. e laterizio porizzato) ed una parete di un edificio realizzato in pannelli portanti:

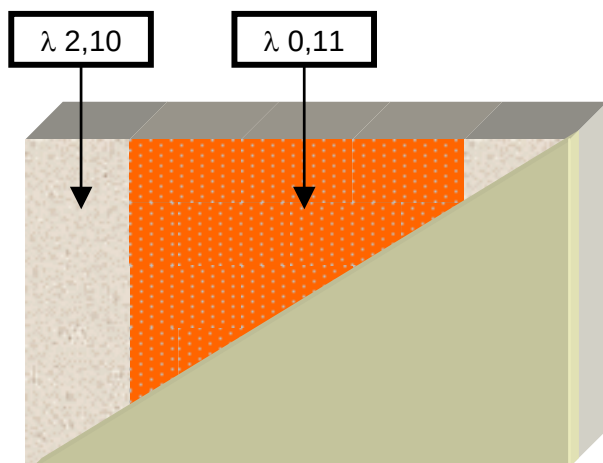


Figura 4.3: Differenze di Conduttività Termica in una struttura tradizionale.

Applicando 15 mm di intonaco sulle due facce della parete si otterrà: nella zona del tamponamento in laterizio porizzato.

Materiale	Spessore mm	λ w/mk	R
Interno			0,13
Intonaco	15	0,80	0,02
Blocco porizzato	300	0,25	1,20
Intonaco	15	0,80	0,02
Esterno			0,04
Resistenza totale			1,40

Tabella 4.8: Calcolo resistenza termica tamponamento

Pari ad una trasmittanza $U = 0,71$

- nella zona della struttura in cemento armato si otterrà

Materiale	Spessore mm	λ w/mk	R
Resistenza interna			0,13
Intonaco	15	0,80	0,02
Pilastro cemento armato	300	2,30	0,13
Intonaco	15	0,80	0,02
Resistenza esterna			0,04
Resistenza totale			0,33

Tabella 4.9: Calcolo resistenza termica telaio C.A.

Pari ad una trasmittanza $U = 3,03$

La differenza di trasmittanza che c'è tra il cemento armato ed il laterizio porizzato utilizzato per le tamponature è notevole e con differenze così marcate (324% !!!) risulta sempre abbastanza difficile trovare una soluzione per l'isolamento termico, che sia:

- compatibile con le esigenze strutturali
- compatibile con le esigenze architettoniche
- facilmente gestibile in cantiere

La soluzione adottata nella maggior parte dei casi è quella di fare una media tra le due trasmittanze rischiando però la formazione di condensa in corrispondenza dei ponti termici.

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.

Questa "regola" ha valore solo teorico e solo se si prende in considerazione l'isolamento invernale senza curarsi di tutti gli altri aspetti che influenzano il comfort abitativo.

Come si vedrà in seguito nella scelta e nel posizionamento dei sistemi isolanti saranno molti i fattori da analizzare.

4.1.2 - Isolamento estivo

Si è accennato in precedenza come l'isolamento estivo abbia un peso rilevante nell'ottenimento di un corretto contenimento del dispendio energetico.

Oltre a ciò si deve considerare che l'eccessivo surriscaldamento estivo delle abitazioni è uno dei principali motivi di *discomfort* abitativo che si registra negli alloggi realizzati negli ultimi cinquant'anni.

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.

Limitarsi a prendere in considerazione solo una parte di questi aspetti porta ad un sicuro insuccesso per quel che riguarda il contenimento del consumo energetico per il raffrescamento estivo.

Da ciò risulta evidente che è necessaria una stretta compenetrazione tra le fasi di progettazione architettonica, strutturale ed energetica.

I parametri, introdotti dalla nuova legislazione (Dlgs 192/2005 e successive modifiche e norme attuative), utili alla valutazione delle performance termiche estive di una struttura sono:

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

Per il primo di questi tre parametri la norma prescrive che, per le sole pareti verticali, nel caso del raggiungimento dei 230 kg di massa superficiale, il requisito prestazionale di isolamento termico estivo sia da ritenersi soddisfatto.

Lasciando da parte le considerazioni circa l'utilità di un indicatore così poco raffinato, trattando in questo manuale di strutture che difficilmente superano i 90 - 100 kg al m², diviene necessario focalizzarsi sulla verifica degli altri parametri.

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/m²K.

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_s) = 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.

Per questi parametri la norma prescrive delle prestazioni limite:

- relativamente a tutte le **pareti verticali opache**, con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord /nord-est, il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (**Y_{IE}**) sia **inferiore a 0,12 W/m² K**

- relativamente a tutte le **pareti opache orizzontali ed inclinate** il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (Y_{ie}) **sia inferiore a $0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$**

Già ad una prima lettura ci si accorge di una notevole incongruenza, quasi una "svista" del legislatore: viene richiesta alla parete una prestazione, di isolamento termico estivo, superiore rispetto a quanto richiesto alla copertura. Questa differenza è incomprensibile visto che la copertura di un edificio è la parte dell'involucro maggiormente sollecitata dall'insolazione!

In base a questa considerazione è buona norma tendere a progettare strutture verticali e di copertura che raggiungano, al minimo, un $Y_{ie} = 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Gli altri limiti *proposti* dalla normativa (l'ottemperanza di tali limiti non è obbligatoria) riguardano lo sfasamento e l'attenuazione. Questi limiti si possono trovare nell'allegato A del DM 26 giugno 2009 "Linee Guida Nazionali per la certificazione energetica degli edifici"

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$fa < 0,15$	ottime	I
$12 > S > 10$	$0,15 < fa < 0,30$	buone	II
$10 > S > 8$	$0,30 < fa < 0,40$	medie	III
$8 > S > 6$	$0,40 < fa < 0,60$	sufficienti	IV
$S < 6$	$fa > 0,60$	mediocri	V

Tabella 4.10: Linee Guida Nazionali: Sfasamento e Attenuazione

Nei casi in cui le coppie di parametri caratterizzanti l'edificio non rientrino coerentemente negli intervalli fissati in tabella, la norma prescrive che, per la classificazione, prevalga il valore dello sfasamento. Questo perché è molto importante che la struttura attenui l'onda termica entrante, ma è ancora più importante che l'innalzamento della temperatura sulla superficie interna della parete si manifesti, quanto più è possibile, in prossimità delle ore di bassa insolazione, quando si può sfruttare, per il raffrescamento, la ventilazione naturale.

Anche nel caso dei limiti riportati nella tabella precedente si potrebbe fare un appunto al legislatore: si è espresso un giudizio

eccessivamente bonario classificando strutture con 6 ore di sfasamento come mediocri

In piena estate un edificio con una corretta esposizione a sud, dopo sei ore si trova ancora nel pieno dell'insolazione e quindi non può contare sul contributo del raffrescamento naturale.

Sei ore di sfasamento sono **assolutamente insufficienti** a garantire un buon comfort abitativo e un sicuro contenimento dei consumi energetici per il raffrescamento.

In senso opposto a quanto contenuto nelle Linee Guida, il *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 4.11: 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 una 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)

Diffusività termica = misura l'attitudine di un materiale a trasmettere una variazione di temperatura; minore sarà la diffusività migliore sarà la prestazione di isolamento estivo.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

dove

α = diffusività termica – si esprime in m²/s

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

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

Materiale	Conduttività Termica	Calore Specifico	Massa volumica	Diffusività termica	Penetrazione termica
	(w/mk)	j/kg·k	kg/m ³	m ² /s 10 ⁻⁶	m
Mattone pieno	0,70	1000	1400	0,500	0,117
Mattone doppio UNI	0,40	1000	913	0,438	0,110
Blocco porizzato 30x25x19	0,19	1000	770	0,247	0,082
Muratura in pietra	2,30	1000	2600	0,885	0,156
Cemento armato	2,30	1000	2300	1,000	0,166
Calcestruzzo CLS	1,65	1000	2200	0,750	0,144
Legno di conifere	0,13	2100	500	0,124	0,058
Fibra di vetro	0,04	840	100	0,440	0,110
Lana di roccia	0,04	1030	110	0,318	0,094

Capitolo 4. Isolamento termico e risparmio energetico.

Materiale	Conduttività Termica	Calore Specifico	Massa volumica	Diffusività termica	Penetrazione termica
XPS	0,04	1450	35	0,709	0,140
EPS	0,03	1450	35	0,670	0,136
Poliuretano espanso	0,03	1400	40	0,500	0,117
Sughero espanso	0,04	1670	140	0,171	0,069
Vetro cellulare	0,04	840	115	0,424	0,108
Fibra di legno	0,04	2000	140	0,143	0,063

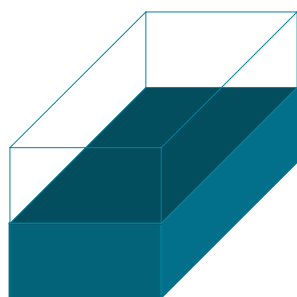
Tabella 4.12: Diffusività e penetrazione termica dei materiali da costruzione ed isolanti termici

Come per l'isolamento "invernale" anche nell'isolamento "estivo" la struttura in legno contribuisce in maniera sostanziale alle buone performance dell'edificio.

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

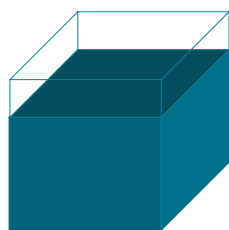
4.2 - PERMEABILITÀ E TENUTA ALL'ARIA NELLE STRUTTURE IN LEGNO

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).



Immaginiamo l'aria come un contenitore e la temperatura il volume del contenitore. In questo contenitore è presente dell'acqua, l'umidità normalmente disciolta nell'aria, che occupa parte del volume totale

1 kg di aria a 25 C° (tbs) che contiene 9,90 gr di acqua ha una Umidità Relativa 50%



Al diminuire del volume del contenitore (temperatura) il livello dell'acqua sale (aumenta l'umidità relativa) cioè il volume del contenuto aumenta relativamente alla capienza del contenitore.

1 kg di aria a 19,5 C° (tbs) che contiene 9,90 gr di acqua ha una Umidità Relativa 70%



Se il contenitore riduce ulteriormente il suo volume, ovvero se la temperatura dell'aria scende, si arriverà ad un punto in cui la quantità di acqua contenuta nel contenitore eccederà alla capacità del contenitore stesso e tracimerà.

1 kg di aria a 13,9 C° (tbs) che contiene 9,90 gr di acqua ha una Umidità Relativa 100%

Nel caso dell'atmosfera si supererà la temperatura di rugiada, cioè la temperatura di massima saturazione, per cui la quantità di acqua

eccedente alla capacità di soluzione nell'aria si trasformerà, condensando, in acqua liquida.

4.2.1 - La condensa superficiale

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.

Il fenomeno è descritto nell'esempio seguente.

Il campione è costituito da una stanza tamponata con blocchi in laterizio porizzato la cui struttura è caratterizzata da un'importante ponte termico individuabile con la trave di solaio.

La temperatura all'interno della stanza, al di fuori dell'influenza del ponte termico, è di 20 °C con un'umidità relativa del 65%. Interpolando questi dati sul diagramma psicrometrico rileviamo l'umidità assoluta che è pari a 9,5 g di acqua (sotto forma di vapore) per kg di aria.

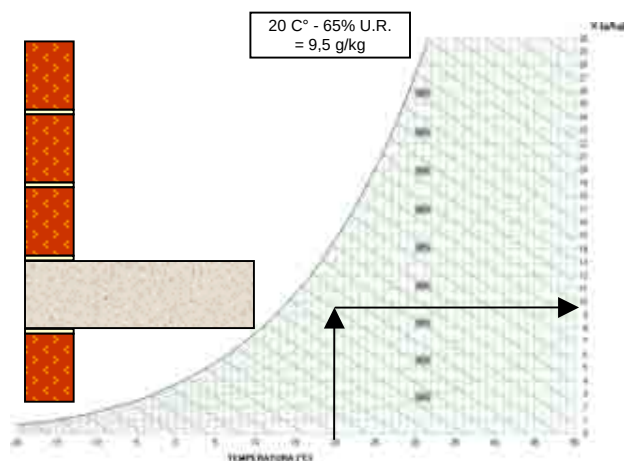


Figura 4.4: Rischio di condensa superficiale in prossimità di ponte termico

Avvicinandosi alla muratura perimetrale, dove si incomincia a avvertire l'influenza del ponte termico, come elemento dispersivo di calore, si registrerà un calo della temperatura di 3 °C, ma la quantità di assoluta di vapore rimane invariata. Variando però la temperatura varierà l'umidità relativa, passando dal 65% al 80%.

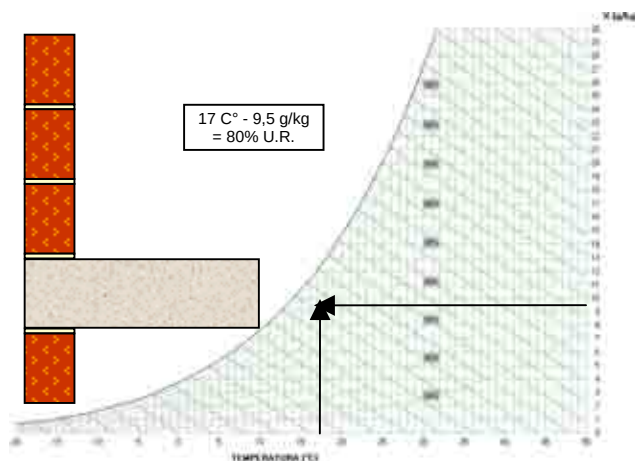


Figura 4.5: Rischio di condensa superficiale in prossimità di ponte termico

Il tasso d'umidità assoluta di 10 g/kg di aria, alla temperatura dell'aria che lambisce la parete in prossimità del ponte termico, 17 °C, fa sì che l'umidità relativa sia pari al 100% e quindi si avvia il fenomeno della condensazione.

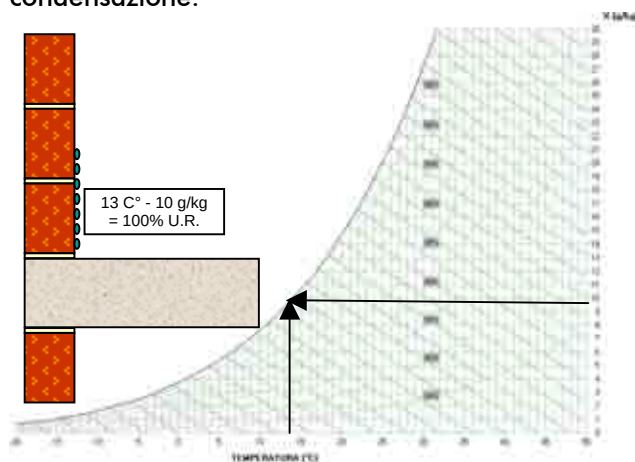


Figura 4.6: Rischio di condensa superficiale in prossimità di ponte termico

L'acqua, sotto forma di 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.

È esperienza quotidiana l'osservare la condensa superficiale sul vetro del bagno dopo la doccia o sul vetro della macchina in una mattinata fredda ed umida d'inverno. Se su una superficie non assorbente come il vetro 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 esterno garantiscono una temperatura superficiale normalmente maggiore della temperatura di rugiada, in situazioni di tassi di umidità normali.

4.2.2 - La condensa 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, strato 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 - e quindi la temperatura dello strato - e la permeabilità al vapore - e 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, pubblicata nel 2001, codifica un nuovo atteggiamento tecnico nella gestione della diffusione del vapore e del conseguente rischio di condense interstiziali.

La novità sta nell'accettare che il vapore possa migrare all'interno di una struttura e che una quantità minima di questo vapore, fissata dalla norma in un massimo di 500 gr/m^2 , 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.

A titolo esemplificativo di seguito si riporta una tabella relativa alla media mensile delle temperature esterne massime, umidità relativa e conseguente umidità assoluta, della città di Firenze

Mese	U.R.	Temp. Max	H ₂ O gr/Kg
Gennaio	76	10	5,7
Febbraio	70	12	6
Marzo	66	15	7
Aprile	68	19	9,3
Maggio	68	23	12
Giugno	68	27	15,2
Luglio	65	31	18,5
Agosto	66	31	18,4
Settembre	69	27	15,5
Ottobre	73	21	11,3
Novembre	76	15	7
Dicembre	78	10	5,9

Tabella 4.13: Andamento temperature ed umidità relativa città di Firenze

Ipotizzando di esaminare un alloggio ove la temperatura interna estiva sia di 26 C° e l'umidità pari al 65%, avremo all'interno dell'abitazione un'umidità assoluta pari a 14 g/kg di aria.

Leggendo la tabella riportata in precedenza si nota che dal mese di giugno a quello di settembre, l'umidità esterna è superiore a quella attesa nell'abitazione. Questo significa che, in questi mesi estivi, il vapore migrerà attraverso la struttura dall'esterno verso l'interno, quindi con una direzione contraria a quella che siamo abituati a immaginare per i mesi freddi. L'inversione del gradiente di umidità fa sì che l'asciugatura dell'eventuale condensa interstiziale accumulata nella struttura avvenga anche verso l'interno dell'edificio. Se si "sigilla" dall'interno la struttura per evitare la migrazione del vapore in inverno rischiamo di impedire l'asciugatura estiva.

Umidità di costruzione:

Un esempio classico di umidità di costruzione intrappolata dalle barriere al vapore è quello dei getti di completamento su solai di copertura in tavelle di cotto.

In questo tipo di realizzazioni si usa spesso posizionare un foglio di polietilene sull'estradosso del manto di tavelle e successivamente gettare una soletta di cls, di spessore variabile, armata con rete metallica. Sulla soletta viene poi posizionato l'isolante e, a completamento del pacchetto, una guaina impermeabilizzante ed il manto di copertura.

Si comprende bene che l'umidità residua del getto non avrà modo di asciugarsi e tenderà a migrare nello strato di isolante, riducendone la funzionalità.

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 barriere al vapore che possono essere non correttamente applicate.

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.

Come si è visto nelle pagine precedenti il miglior isolante esistente in natura è l'aria ferma ed asciutta e la quantità di aria contenuta in un materiale è direttamente proporzionale alla capacità isolante del materiale stesso. Per fare un esempio si guardi alla conduttività termica del laterizio pieno e del porizzato: il miglioramento prestazionale nei porizzati è da attribuire al maggior volume di aria inclusa nella struttura dell'elemento.

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

Questo fenomeno avvierebbe un processo che avrebbe, in determinate condizioni, un andamento esponenziale. Infatti se l'acqua condensata

peggiora la prestazione isolante del materiale, diviene probabile che in quella posizione la struttura diventi più fredda e quindi, in condizioni di quantità di vapore costante, la quantità di acqua condensata aumenterebbe.

Siccome si è detto che 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'igroscopicità e il peggioramento della trasmittanza in presenza di umidità.

4.2.3 - 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. Un altro aspetto importantissimo è quello derivante dal fatto che se si rende possibile la distribuzione dell'umidità condensata su un volume il più ampio possibile, l'asciugatura è più veloce perché si può contare su una superficie evaporante estesa.

4.2.4 - Peggioramento della trasmittanza in presenza di umidità.

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

Table 1 — Declared value conditions

Property	Sets of conditions			
	I (10 °C)		II (23 °C)	
	a)	b)	a)	b)
Reference temperature	10 °C	10 °C	23 °C	23 °C
Moisture	w_{10}^*	$w_{23,50}^b$	w_{10}^*	$w_{23,50}^b$
Ageing	aged	aged	aged	aged
^a w_{10}^* is a low moisture content reached by drying according to specifications or standards for the material concerned. ^b $w_{23,50}$ is the moisture content when in equilibrium with air at 23 °C and relative humidity of 50 %.				

Tabella 4.14: Set di condizioni di temperatura ed umidità per il test di conduttività termica dei materiali

Nella Tabella 4.14 sono riportati i set di temperatura ed umidità utilizzati per i vari materiali per la determinazione della conduttività termica.

Al variare di queste condizioni la conduttività termica può subire variazioni anche importanti; diviene perciò consigliabile, una volta definita la temperatura e l'umidità di progetto, verificare di quanto la prestazione del materiale scelto siano variate, adeguando conseguentemente le stratigrafie alle reali prestazioni.

Il metodo di verifica è descritto nella norma ISO EN UNI 10456 al punto 7.3 riportato di seguito:

7.3 Conversion for moisture

The factor F_m for moisture content is determined as follows:

.....

Conversion of moisture content given as volume by volume:

$$F_m = e^{f_v(\psi_2 - \psi_1)}$$

where

f_v is the moisture conversion coefficient volume by volume;

ψ_1 is the moisture content volume by volume of the first set of conditions;

ψ_2 is the moisture content volume by volume of the second set of conditions.

Values of the moisture conversion coefficient for insulation and masonry materials are given in Table 4.

Secondo la norma ISO EN UNI 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.

In conclusione si deve progettare la struttura in modo che sia permeabile al vapore, per facilitare l'asciugatura, ed insensibile 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
- Dimensionamento dello strato isolante in maniera che diano 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.

Molto importante, per la corretta funzionalità di una struttura, è il "posizionamento" della zona fredda, quella che più rischia le condense interstiziali, il più possibile in prossimità di una zona ventilata, riducendo al minimo tutti gli ostacoli ad una veloce asciugatura.

Un buon esempio in questo senso è il cappotto termico:

l'isolamento posto nella posizione più esterna possibile protegge la struttura dal raffreddamento, riducendo drasticamente i rischi di condensa sulla struttura stessa.

Se il materiale con cui viene realizzato l'isolamento ha una buona igroscopicità, le condense, che difficilmente sono diffuse ma che normalmente si manifestano puntualmente, vengono distribuite su

un'ampia superficie e quindi i tempi di evaporazione diminuiscono sensibilmente.

Perché questo meccanismo possa attivarsi è indispensabile che:

- 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

Gli stessi meccanismi si ripropongono sulle coperture: anche in questo caso la porzione più esterna del pacchetto costruttivo dovrà essere costituita dall'isolante e, per avere una rapida asciugatura, oltre ad una idonea ventilazione, è fondamentale l'utilizzo di isolanti e impermeabilizzanti aperti alla diffusione del vapore.

4.2.4 - 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 scatole di derivazione o simili.

Un altro punto critico per la permeabilità all'aria è la facciata esterna nel caso si utilizzino rivestimenti discontinui. Infatti, nel caso di superfici esterne intonacate, la finitura superficiale già assolve la funzione di barriera al vento. Nel caso invece di pareti ventilate o dogati è importante assicurare una buona impermeabilità all'aria tenendo conto della pressione del vento.

Normalmente, in questi casi, si utilizzano teli per facciate che devono avere le seguenti caratteristiche:

- devono essere saldabili, chimicamente o termicamente, in modo da assicurare una buona chiusura anche in caso di vento forte
- devono assicurare una buona impermeabilità all'acqua in caso di pioggia battente e vento forte
- devono essere aperti al passaggio del vapore in modo da non limitare l'asciugatura del pacchetto retrostante
- devono resistere totalmente e illimitatamente alla luce; questi teli, come i teli sotto-copertura, pur essendo protetti da elementi schermanti, come le doghe o altri elementi estetici, non lavorano mai in condizioni di totale protezione dai raggi solari.

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.

La prima verifica da effettuare è sulla certificazione di tenuta all'aria che deve essere fornita dal produttore dell'elemento strutturale (pannello di OSB o X Lam). In assenza di tale certificazione o in caso di elementi strutturali discontinui (tavolato) sarà necessario utilizzare idonei teli di tenuta all'aria opportunamente nastrati o saldati ai sormonti.

In caso invece di elementi costruttivi impermeabili all'aria 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!

4.3 - LA SCELTA DELL'ISOLANTE ED IL SUO POSIZIONAMENTO

Con le nozioni illustrate nei paragrafi precedenti si può costruire una griglia riassuntiva delle caratteristiche richieste ad un coibente per procedere ad una scelta corretta del miglior materiale da impiegare nell'isolamento invernale ed estivo

Parametro		Inverno	Estate
Conduttività Termica	λ	si	si
Spessore	d	si	si
Capacità termica	c	no	si
Massa	ρ	no	si
Permeabilità al vapore	μ	si	si
Igroscopicità		si	si

Tabella 4.15 – Griglia riassuntiva caratteristiche isolanti

Per semplificare l'analisi è possibile ridurre la valutazione ai soli parametri termici per poi verificare gli aspetti igrometrici solo per i prodotti che soddisfano le prime condizioni.

In sintesi la verifica termica la possiamo ricondurre a due macro indicatori: la *Resistenza Termica* con al quale si potrà calcolare la *Trasmittanza Termica*, per la valutazione invernale, e la *Profondità Penetrazione Periodica* e quindi lo *Sfasamento termico* per la valutazione estiva.

Come visto in precedenza le formule da cui si ricavano i due indicatori sono:

Per la Trasmittanza Termica

$$U = \frac{1}{\Sigma R_{strati}}$$

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

Per Profondità Penetrazione Periodica

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

Siccome si utilizzerà lo stesso materiale per l'isolamento invernale e quello estivo, sarà necessario tendere all'utilizzo di un prodotto che, a parità di spessore, ci dia la massima resistenza e la minima profondità di penetrazione.

Per poter meglio definire le valutazioni attraverso cui scegliere un materiale isolante e la posizione in cui collocare l'isolante stesso, si possono simulare alcuni esempi di struttura

Parete perimetrale

Pur avendo il legno un buon comportamento nella resistenza alla conduzione del calore, ma visti i bassi spessori utilizzati con le più diffuse tecnologie costruttive, diventa necessario completare la costruzione con un sistema di isolamento termico.

La tecnica comunemente utilizzata per isolare la parete esterna della costruzione in legno è quella del "cappotto", ovvero un pannello isolante esterno, intonacato, applicato e meccanicamente vincolato alla struttura.

Questo sistema permette di mantenere la struttura "calda" riducendo così il rischio di condense superficiali ed interstiziali; inoltre l'isolante collocato nella zona più esterna ha il vantaggio di godere di una buona ventilazione.

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, accidentalmente inumidito da acqua penetrata dall'esterno o da condense interstiziali, possa prontamente asciugarsi, ma, contemporaneamente, devono dare al sistema una buona protezione dalle piogge battenti sulla superficie del cappotto stesso.

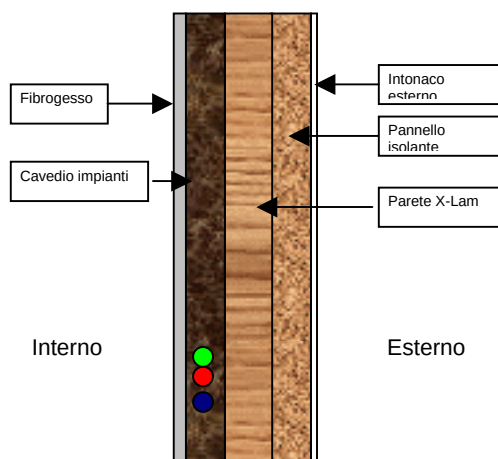


Figura 4.7 Schema di parete in X-Lam + cappotto esterno e cavedio impianti

Un'alternativa alla finitura con intonaco è la parete ventilata. Questa viene realizzata applicando il pannello isolante alla parete, predisponendo uno strato traspirante di tenuta al vento ed all'acqua a protezione dell'isolante e rivestendo il tutto con elementi discontinui in diversi materiali (cotto, ceramica, metalli, legno ecc) montati su struttura in legno e/o metallica a sua volta vincolata alla parete da rivestire. Il montaggio di quest'ultimo strato è realizzato in modo da formare un'intercapedine ventilata che ha lo scopo di determinare la formazione di una lama d'aria continua che lambisce la superficie dell'isolante, smaltendone l'umidità che si dovesse formare e riducendo la temperatura dello stesso nei mesi estivi.

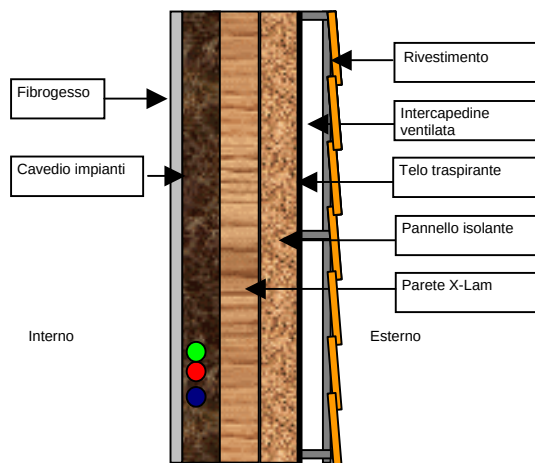


Figura 4.8 Schema di parete in X-Lam + isolamento esterno e parete ventilata

Come evidenziato nelle figure precedenti, nel sistema di isolamento a cappotto su costruzioni in legno, la struttura, normalmente, è dotata di due strati isolanti:

- il primo, esterno, è lo strato a cui ci si affida per l'isolamento termico vero e proprio
- il secondo, all'interno del cavedio impianti, ha più una funzione di coibentazione acustica.

Per l'isolamento a cappotto vengono utilizzati preferibilmente pannelli con una buona resistenza meccanica mentre per il riempimento del cavedio si possono utilizzare materiali fibrosi o sciolti che meglio si prestano al riempimento di volumi irregolari.

Per poter valutare il comportamento del materiale isolante da collocare all'esterno, si può simulare una parete di X Lam da 100 mm dalla quale si voglia ottenere un $U = 0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ed uno sfasamento termico di 12 ore.

Per raggiungere questo risultato si proveranno vari tipi di isolanti (riportati nelle tabelle seguenti), variando lo spessore in funzione della prestazione che si dovrà ottenere. Ogni pannello isolante sarà rasato con 7 mm di malta a base di calce naturale.

Capitolo 4. Isolamento termico e risparmio energetico

Per semplificare la lettura, in questa prova, si eliminerà il cavedio impianti ed il relativo coibente fibroso, affidando così l'isolamento al solo pannello esterno.

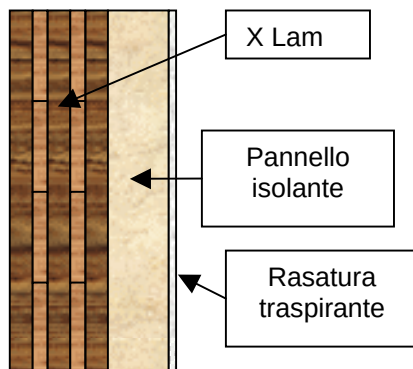


Figura 4.9. Schema di parete in X-Lam + cappotto esterno

I materiali di seguito descritti sono quelli che maggiormente si impiegano nelle applicazioni a cappotto e che verranno testati nelle tabelle successive:

Materiale	Conduttività Termica W/m K	Calore Specifico J/Kg·K	Massa Volumica Kg m₃
Fibra di vetro	0,039	1030	100
Lana di roccia	0,036	1030	100
XPS	0,036	1450	20
EPS	0,032	1450	15
Poliuretano espanso	0,026	1464	35
Sughero espanso	0,043	1880	140
Calcio silicato	0,043	1300	115
Fibra di legno	0,040	2100	160

Tabella 4. 16 – Principali materiali isolanti per cappotto esterno

**Comparazione tra le prestazioni di diversi isolanti
nell'applicazione a cappotto esterno su struttura in legno.**

Fibra di Vetro			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	100
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,039
Calore specifico	X	J/Kg·K	1030
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,102
Resistenza igroscopica	μ	-	1
Note			
Materiale di origine minerale Reazione al fuoco = A1			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m ₂ ·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	125	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	225	

Lana di roccia			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	100
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,036
Calore specifico	X	J/Kg·K	1030
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,098
Resistenza igroscopica	μ	-	1
Note			
Materiale di origine minerale Reazione al fuoco = A1			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m ₂ ·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	115	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	220	

Polistirene Espanso Estruso - XPS			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	20
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,036
Calore specifico	X	J/Kg·K	1450
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,185
Resistenza igroscopica	μ	-	100
Note			
Materiale di origine petrolchimica Reazione al fuoco = E			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	115	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	415	

Polistirene Espanso Sinterizzato - EPS			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	19
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,032
Calore specifico	X	J/Kg·K	1450
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,179
Resistenza igroscopica	μ	-	40
Note			
Materiale di origine petrolchimica Reazione al fuoco = Classe E			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	110	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	460	

Capitolo 4. Isolamento termico e risparmio energetico.

Schiuma di Poliuretano - PU			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	35
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,026
Calore specifico	X	J/Kg·K	1464
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,118
Resistenza igroscopica	μ	-	56
Note			
Materiale di origine petrolchimica Reazione al fuoco = E			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m ₂ ·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	85	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	265	

Sughero			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	140
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,043
Calore specifico	X	J/Kg·K	1880
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,067
Resistenza igroscopica	μ	-	10
Note			
Materiale di origine naturale Reazione al fuoco =			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m ₂ ·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	140	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	150	

Silicato di Calcio			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	115
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,043
Calore specifico	X	j/Kg·K	1300
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,089
Resistenza igroscopica	μ	-	3
Note			
Materiale di origine minerale Reazione al fuoco = A1			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	140	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	200	

Fibra di legno			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	150
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,040
Calore specifico	X	j/Kg·K	2100
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,059
Resistenza igroscopica	μ	-	5
Note			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	125	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	135	

Nelle tabelle precedenti possiamo notare che la maggior parte degli isolanti hanno un comportamento estremamente difforme tra inverno ed estate. Fanno eccezione gli isolanti naturali (fibra di legno e sughero) che sono caratterizzati da una discreta *Trasmittanza Termica*, buona massa e alto *Calore Specifico*.

A titolo di riepilogo di seguito si possono osservare i comportamenti dei materiali esaminati

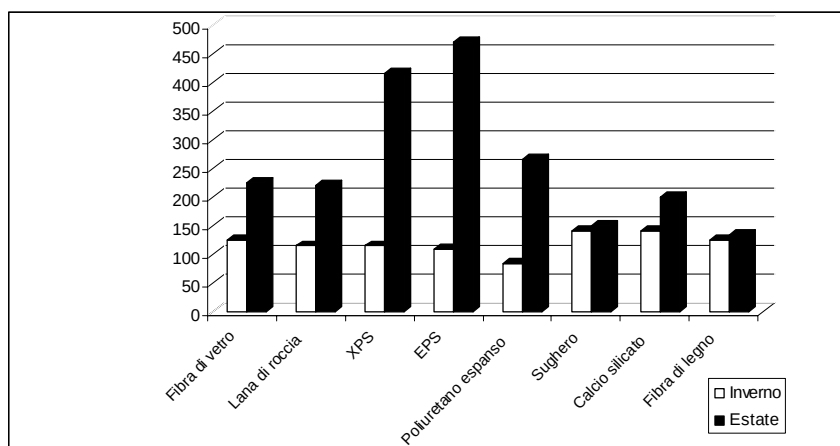


Figura 4.10: Schema riassuntivo prestazioni isolanti su cappotto esterno.

Copertura

Anche sulle coperture la soluzione tecnicamente ottimale è il posizionamento dell'isolante immediatamente sotto il manto di copertura.

La coibentazione della copertura deve essere accurata quanto, se non più, della coibentazione in parete. Infatti, se è vero che in termini di estensione superficiale le pareti perimetrali "pesano" molto nel calcolo delle dispersioni, è anche vero che il tetto, per la sua posizione, è la porzione dell'edificio maggiormente sollecitata in estate e meno protetta d'inverno.

Nel caso di coperture a falde, l'isolante sarà posato sul solaio inclinato, avendo cura di interporre uno strato di tenuta all'aria (dalla banale carta Kraft a teli più raffinati come le barriere igrovariabili).

Al di sopra dell'isolante, composto negli strati e spessori opportuni, si posizionerà un manto traspirante impermeabile e un sistema di listelli, vincolato direttamente alla struttura, tale da costituire una corretta ventilazione 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.

Con un procedimento analogo a quello visto in precedenza per il cappotto si può verificare il comportamento di ogni materiale su una struttura leggera, costituita da:

- doppio tavolato 20 mm + 20 mm
- carta Kraft
- pannello isolante
- ventilazione da 50 mm

Tutti gli strati successivi alla ventilazione non vengono presi in considerazione nel calcolo e quindi si possono trascurare

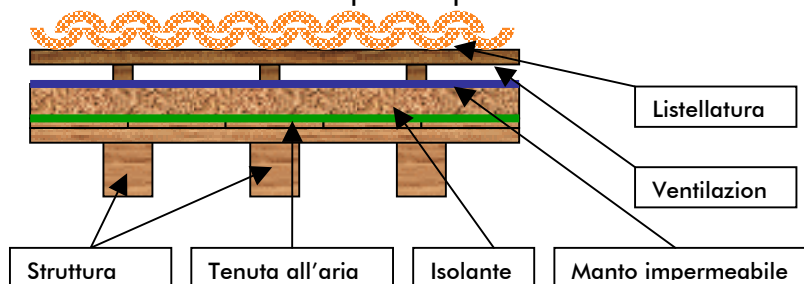


Figura 4.11 Schema di copertura ventilata

Gli obiettivi prestazionali saranno:

- trasmittanza termica $U = 0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- sfasamento termico di 12 ore.

I materiali utilizzati in questa prova sono i seguenti:

Materiale	Conduttività Termica W/m K	Calore Specifico J/Kg·K	Massa Volumica Kg m₃
Fibra di vetro	0,039	1030	30
Lana di roccia	0,036	1030	130
XPS	0,034	1450	35
EPS	0,038	1450	25
Poliuretano espanso	0,026	1464	35
Sughero espanso	0,043	1880	140
Fibra di legno	0,040	2100	140

Tabella 4.16– Griglia riassuntiva caratteristiche isolanti per copertura ventilata

Comparazione tra le prestazioni di diversi isolanti nell'applicazione su copertura ventilata su struttura in doppio tavolato.

Fibra di Vetro			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	30
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,039
Calore specifico	X	j/Kg·K	1030
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,186
Resistenza igroscopica	μ	-	1
Note			
Materiale di origine minerale			
Reazione al fuoco = A1			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	125	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	225	

Lana di roccia			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	100
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,036
Calore specifico	X	J/Kg·K	1030
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,086
Resistenza igroscopica	μ	-	1
Note			
Materiale di origine minerale Reazione al fuoco = A1			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	115	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	220	

Polistirene Espanso Estruso - XPS			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	20
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,036
Calore specifico	X	J/Kg·K	1450
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,136
Resistenza igroscopica	μ	-	100
Note			
Materiale di origine petrolchimica Reazione al fuoco = E			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	115	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	415	

Polistirene Espanso Sinterizzato - EPS

Capitolo 4. Isolamento termico e risparmio energetico.

Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	19
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,032
Calore specifico	X	j/Kg·K	1450
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,174
Resistenza igroscopica	μ	-	40
Note			
Materiale di origine petrolchimica Reazione al fuoco = Classe E			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	110	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	460	

Schiuma di Poliuretano - PU			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	35
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,026
Calore specifico	X	j/Kg·K	1464
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,118
Resistenza igroscopica	μ	-	56
Note			
Materiale di origine petrolchimica Reazione al fuoco = E			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	90	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	360	

Sughero			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	140
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,043
Calore specifico	X	j/Kg·K	1880
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,067
Resistenza igroscopica	μ	-	10
Note			
Materiale di origine naturale Reazione al fuoco =			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	150	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	195	

Fibra di legno			
Dato	Simbolo	U.M.	Valore
Massa volumica	ρ	Kg/mc	140
Conducibilità termica	λ	W/m K	0,038
Calore specifico	X	j/Kg·K	2100
Penetrazione termica periodica	δ	m	0,06
Resistenza igroscopica	μ	-	5
Note			
Prestazione su parete X Lam mm 100			
Isolamento invernale	Obiettivo	Spessore	
Dato	W/m₂·K	mm	
Trasmittanza termica	0,24	135	
Isolamento estivo	Obiettivo	Spessore	
Dato	ore	mm	
Sfasamento termico	12	175	

Le differenze che si riscontrano nelle tabelle precedenti rispetto all'analisi relativa al cappotto esterno sono da imputare a:

Capitolo 4. Isolamento termico e risparmio energetico.

- una differenza nella qualità e quindi nella prestazione di isolamento termico del coibente, nei pannelli destinati alla copertura rispetto a quelli destinati al cappotto
- nel caso preso in esame manca il contributo del pannello X Lam, sostituito dal doppio tavolato incrociato.

Come si può osservare nei dettagli precedenti e nel riepilogo che segue, anche nel caso della copertura, si evidenziano i diversi comportamenti tra gli isolanti sintetici e gli isolanti naturali, con la riconferma della maggiore idoneità questi ultimi all'utilizzo su strutture leggere.

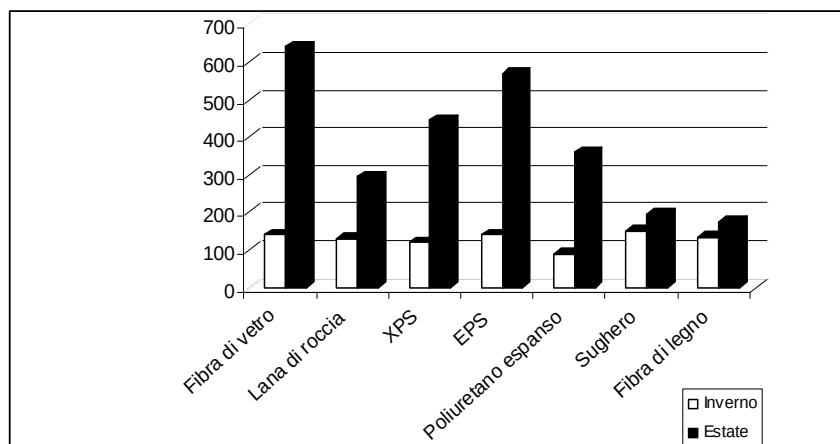


Figura 4.12: Schema riassuntivo prestazioni isolanti su copertura ventilata.

4.6 - CRITERI E FINALITÀ GENERALI DELLA PROGETTAZIONE IMPIANTISTICA

In un contesto progettuale caratterizzato da notevoli livelli di eccellenza nella totalità dei comparti costruttivi legati all'edificazione in legno, la progettazione degli impianti ricopre un ruolo cruciale nella sfida dell'efficienza. Questa, risultando dal rapporto fra beneficio ottenuto ed energia spesa per ottenerlo, può essere massimizzata unicamente attraverso tecniche, o ove possibile tecnologie, che riducano il consumo di risorse, o secondariamente, la "spesa" per il loro sfruttamento. Sulla base di ciò, risulta quindi raccomandabile che la finalità ed il criterio della progettazione degli impianti in edifici efficienti in legno sia proprio.... l'efficienza. Tale finalità, o criterio, non va comunque perseguita a qualunque costo: spesso infatti surplus marginali di rendimento vengono conquistati pagando un prezzo eccessivo in termini di costo d'installazione e complicazione impiantistica. Il ruolo del progettista accorto è quello, quindi, di individuare questo limite che costituisce il punto d'incontro, che può definirsi ottimale, fra resa (elevata) e semplicità (massima).

Le fonti rinnovabili possono fornire un importante contributo al perseguimento degli obiettivi detti, per la loro disponibilità, per il loro, talvolta, trascurabile costo e per la semplicità impiantistica necessaria al loro sfruttamento efficiente. E' evidente che solo alcune delle fonti energetiche definite rinnovabili (nelle più comuni e diffuse definizioni) risultano ragionevolmente sfruttabili nel settore residenziale. Infatti solo l'energia solare, l'energia eolica, la fonte geotermica e l'energia da biomassa possono essere sensatamente sfruttate nell'ambito abitativo allo scopo, come già detto, di perseguire resa e semplicità dell'impianto.

Un ulteriore fonte, anch'essa rinnovabile, svolge un ruolo fondamentale nella sfida dell'efficienza: la riduzione dei consumi. Le fonti rinnovabili non sono quasi mai abbondanti, ed il loro sfruttamento risulta impegnativo sia per ragioni di costo che di spazio disponibile. L'energia solare, per esempio, è una fonte ampiamente disponibile (quasi 1000 W/m²), ma il cui sfruttamento richiede quasi sempre ampie superfici di captazione. Ciò costituisce un problema nel settore residenziale.

Nell'applicazione delle fonti rinnovabili in ambito residenziale il primo provvedimento da assumere, quindi, è l'analisi dei consumi energetici e la loro riduzione.

Dovranno cioè essere presi tutti quei provvedimenti tali che il costo dell'energia risparmiata sia inferiore a quello dell'energia prodotta con

la fonte rinnovabile. Oltre ai classici interventi atti al contenimento dei consumi (che risultano ormai ampiamente normati) prima della progettazione di impianti e sistemi energetici all'interno di edifici ad elevata efficienza, quali vogliono essere le costruzioni in legno, si dovrebbe tenere in considerazione il costo dell'unità di energia prodotta attraverso la fonte rinnovabile e confrontarlo col costo che avrebbe un intervento di miglioramento energetico che consenta il risparmio della medesima unità di energia. La Tabella 0 I mostra un elenco, non esaustivo, degli interventi di risparmio o efficienza energetica che il progettista deve prendere in considerazione nelle fasi preliminari di progettazione di sistemi integrati che utilizzano fonti rinnovabili.

Esempio 1: Un sistema di illuminazione esterna di tipo tradizionale (lampade alogene) di potenza complessiva 860 W consuma annualmente 2.5 MWh. Si vuole soddisfare il 50 % del fabbisogno energetico annuo con un impianto fotovoltaico. L'impianto fotovoltaico dovrà produrre, quindi, 1250 kWh/anno. Poiché l'impianto verrà installato ad una latitudine (38° Nord) in cui la producibilità da fonte fotovoltaica è di 1250kWh/kWp, questo dovrà avere una potenza di 1 kWp ed occuperà una superficie in pianta di 7 m². Il suo costo sarà di 6230 euro. In alternativa si decide di sostituire i corpi alogeni con lampade a fluorescenza in maniera tale da avere lo stesso valore di illuminamento medio (potenza complessiva 180 W). Il costo di tale intervento sarà di 85 euro ed il consumo annuo risulterà di 525 kWh (circa un quinto del precedente impianto di illuminazione). L'impianto fotovoltaico che soddisfa il 50% del fabbisogno energetico annuo di questa nuova configurazione avrà una potenza di picco di 420 Wp ed un costo di 2780 euro.

Se si analizzano i risultati dell'esempio riportato sopra si può vedere come la spesa complessiva sostenuta per l'approntamento della seconda soluzione sarà complessivamente di 2865 euro, ovvero consentirà un risparmio in fase di installazione di 3365 euro. La seconda soluzione però avrà benefici anche in fase di esercizio. Il restante 50% di energia elettrica che sarà necessario acquistare costerà 225 euro/anno nella prima soluzione, mentre solo 95 euro nella seconda, consentendo il conseguimento di un ulteriore risparmio di 130 euro/anno.

Esempi come quello illustrato mettono in evidenza come sia di cruciale importanza, prima della progettazione di un sistema che prevede l'utilizzo di fonti rinnovabili, analizzare i consumi e, ove possibile, intervenire per una loro riduzione: il beneficio sarà sia energetico/ambientale che economico.

FONTE RINNOVABILE		
Fotovoltaico	Solare termico (Risc + ACS)	Geotermico (PdC raffr.)
Interventi preliminari		
Sfruttamento dell'illuminazione naturale	Riduzione dei consumi di ACS (p.e. valutando la reale necessità del ricircolo)	Orientamento dell'edificio
Incremento dell'efficienza dei sistemi di illuminazione	Isolamento termico	Ombreggiamento
Applicazione di INVERTER sui motori (p.e. autoclavi)	Eliminazione dei ponti termici	Free cooling
	Generazione efficiente dell'energia termica	Ventilazione notturna
	Utilizzo di chiusure trasparenti LE	Ventilazione con recupero
	Utilizzo di terminali a bassa temperatura	

Tabella 4.15: Interventi di risparmio energetico da valutare prima di installare la relativa fonte energetica rinnovabile

4.6.1 Un criterio per il dimensionamento della fonte rinnovabile

Il dimensionamento "classico" delle centrale termica o frigorifera viene usualmente eseguito utilizzando rispettivamente la UNI 12831 [1] e il metodo Carrier [2]. Ambedue i codici di calcolo, consentono la determinazione della potenza di picco necessaria per abbattere il carico. Quindi, essendo metodi di calcolo "stazionari", conducono al dimensionamento per la copertura del carico massimo. Tale pratica, ormai ampiamente consolidata, assicura la copertura in tutte le condizioni di esercizio ma non consente una buona prestazione energetica ¹. Inoltre questo metodo di calcolo non permette ne di massimizzare i valori di REP (Rapporto Energia Primaria) per la tipologia di generatore scelto ne di ottenere risparmi significati sia in fase di esercizio che di installazione.

¹ Basti pensare alle caldaie murali per il riscaldamento domestico. Edifici in legno, con livelli di coibentazione come quelli proposti nei capitoli precedenti, consentono notevoli prestazioni in termini di contenimento delle dispersioni termiche. Da ciò deriva che unità abitative anche grandi hanno carichi termici base dell'ordine dei 6-7 kW con un carico di picco di 12-14 kW. L'installazione di generatori modulanti ad elevata efficienza con potenza nominale di 20 - 24 kW (necessari per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria) implica il funzionamento sotto il limite inferiore di parzializzazione (30 %) per buona parte della stagione. In tali condizioni una caldaia modulante sarà costretta a continui cicli ON/OFF che ne compromettono l'efficienza complessiva.

Risulta evidente che, il nuovo parametro guida per il dimensionamento dei sistemi che utilizzano, totalmente o in parte, fonti energetiche rinnovabili debba essere l'energia e non la potenza (di picco). Come già avviene per gli impianti di generazione alimentati da energia solare (fotovoltaici o termici ²), la scelta della potenza da installare deve essere fatta con l'obiettivo di ottenere una produzione di energia su base annuale coincidente con la frazione dei consumi che si vuole coprire (valore di integrazione obiettivo).

Questa "nuova" procedura di dimensionamento richiede il calcolo dinamico del carico termico. La variabilità del carico termico o frigorifero richiesto alla centrale termica/frigorifera può essere, quindi, evidenziato su un particolare tipo di grafico, detto curva di durata, che fornisce utili informazioni per un corretto dimensionamento del sistema. La curva di durata (il termine deriva dalla curva che descrive la disponibilità di una fonte energetica, solitamente vento o acqua) viene costruita ordinando tutti i carichi orari dell'anno in ordine decrescente. Chiaramente, l'area sottesa alla curva è proporzionale all'energia annua richiesta. La Figura 4.7 mostra la curva di durata dei carichi termici invernali ottenuta per un edificio residenziale in zona climatica D. La lettura del grafico risulta abbastanza intuitiva. I valori limite della curva, 12 kW e 1980 ore indicano rispettivamente la potenza di picco richiesta all'impianto di riscaldamento e le ore di funzionamento dell'impianto in una stagione (12 h/giorno x 165 gg/stagione).

² Negli impianti solari fotovoltaici, la dimensione del campo solare viene stabilita, solitamente, uguagliando il fabbisogno annuale di energia dell'utenza con la producibilità del sistema fotovoltaico. Analogamente nel dimensionamento di un impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria, l'obiettivo è la copertura del 50% del fabbisogno energetico necessario. In ambedue i casi la potenza di picco richiesta dall'utenza non viene presa in considerazione e se ne demanda l'eventuale copertura a sistemi di back-up (rispettivamente la rete elettrica e la caldaia ausiliaria).

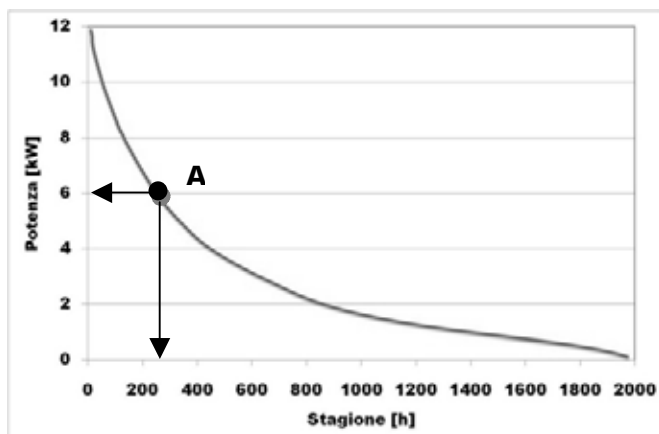


Figura 4.7: Curva di durata per una unità abitativa in zona climatica D (165 gg. di riscaldamento 12 h/giorno)

Un punto qualunque A, di coordinate $[x_A; y_A]$, scelto sulla curva, sta ad indicare che il carico termico sarà superiore a y_A per x_A ore nell'intera stagione. Con riferimento alla curva di Figura 4.7 risulta che il carico termico è superiore a 6 kW (50% del carico di picco) per 230 ore/stagione (11% della durata dell'intera stagione). In una condizione come quella descritta dalla figura sopra risulta certamente più economico dimensionare la centrale termica con fonte rinnovabile per la copertura della metà del carico di picco e lasciare che sia un sistema ausiliario a generare il calore nelle poche ore restanti: non bisogna dimenticare infatti che la realizzazione di una centrale termica (analogo discorso vale per centrali frigorifere) a fonte rinnovabile comporta un costo di installazione maggiore a quello delle tecnologie convenzionali e che tale costo risulta essere proporzionale alla potenza installata.

Un dimensionamento eseguito secondo il criterio illustrato porta due immediati benefici:

- il costo dell'installazione risulta minore con tempi di ritorno dell'investimento più vicini alle aspettative della committenza.
- la generazione del calore risulta più efficiente poiché i due generatori installati funzionano per più ore all'anno in condizioni di carico prossime alla potenza nominale.

Risulta quindi più economico ed efficiente sottodimensionare il sistema di generazione a fonte rinnovabile ed affiancare a questo un generatore di tipo tradizionale. Il rapporto fra i valori di potenza nominale dei due generatori installati dovrà essere valutato dal progettista sulla base dell'analisi dinamica del carico e dello studio

della curva di durata, secondo le modalità già illustrate. Chiaramente una soluzione mista come quella proposta comporterà costi di esercizio leggermente superiori rispetto ad una soluzione full renewable ma il beneficio in termini di costo ridotto dell'investimento iniziale risulteranno superiori all'extra costo d'esercizio dovuto al funzionamento in tandem della tecnologia rinnovabile e di quella tradizionale³.

In conclusione si può dire che nel caso di progettazione di impianti energetici a fonti rinnovabili è opportuno utilizzare codici di calcolo basati sull'analisi dinamica dei carichi (ottenuti con opportuni software [3]) e procedere allo studio critico della curva di durata. Solo con l'utilizzo di questi strumenti è possibile trovare il punto di incontro ottimale fra efficienza e convenienza economica.

³ A titolo di esempio si immagini un sistema di riscaldamento con pompa di calore elettrica assistito da fonte solare o geotermica. Il sottodimensionamento del campo solare termico o della sonda geotermica comporta un risparmio, dovuto al minor numero di pannelli solari o sonde geotermiche installate, notevolmente maggiore al costo di acquisto ed installazione di una caldaia per integrare la minore energia solare o geotermica estratta.

4.7 - TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE APPLICABILI

Fra le tecnologie innovative applicabili di sicuro interesse è il “solar cooling” ovvero la possibilità di climatizzare l’ambiente residenziale utilizzando in buona parte l’energia termica solare.

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.

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 [4].

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 ambienti quasi si sovrappone a quello dell’energia fornita da un sistema solare termico (Figura 4.8), 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 [5].

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.

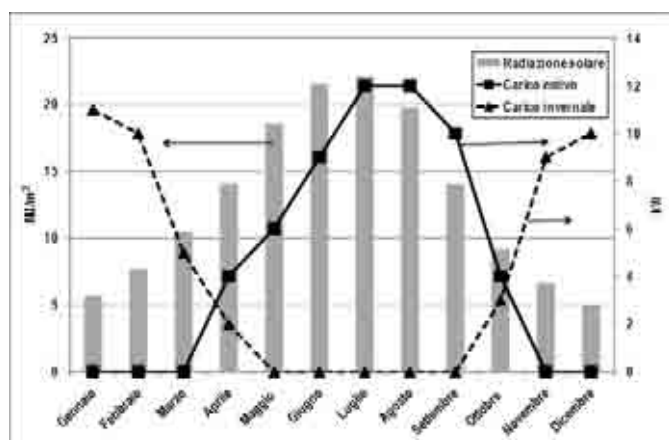


Figura 4.8: Andamento dei carichi invernali ed estivi e della radiazione solare incidente (38° Lat. N)

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 tenerne in considerazione anche 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 termica⁴.

⁴ 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.

4.7.1 Case study: solar-cooling di piccola taglia in clima mediterraneo

La realizzazione di un impianto per solar cooling di taglia piccola (o piccolissima, 3 - 8 kW) presenta diverse criticità. Prima fra queste la reperibilità sul mercato di macchine frigorifere ad adsorbimento/assorbimento thermally driven di taglia adeguata alla piccola climatizzazione. La Tabella 4.16 mostra un elenco di refrigeratori per il solar cooling di piccola taglia attualmente sul mercato. Come risulta evidente solamente un paio hanno potenza inferiore agli 8 kW. 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 stato attuale non esistono norme o codici di calcolo di riferimento per il dimensionamento degli impianti solar cooling⁵ [7].

Produttore	Tosaki Giappone	FAW Germania	Sonnenklima Germania	Botanica Spagna	Climatwerk Svezia	Solartherm Germania	Solartherm Germania	Solartherm Germania	SITI Cina	Interfr Germania
Modello	WFC SC3 chiller WFC 18	Wegocal SET5	Sonnenklima 10	Solar D45	Climatwerk 10	chiller PSC12	ACS 08 chiller STC18	ACS 15 chiller STC15	SWAC 10	HTC 10 chiller STC10
Tecnologia	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento	Assorbimento
Potenza frigorifera (kW)	12,5	15	10	4,5	10	12	7,5	15	10	10
Temperatura acqua calda (°C)	88/83	90/80	75/65	90/85	83/-	85/78	75/68	75/69	85/79	95/87
Temperatura di re-cooling (°C)	31/25	30/25	27/25	30/25	30/-	24/29	27/32	27/32	30/26	32/28
Temperatura acqua fredda (°C)	12,5/7	12/11	18/15	13/10	-7/5	12/6	18/15	18/15	15/10	18/15
COP	0,7	0,71	0,77	0,67	0,68	0,62	0,56	0,56	0,59	0,5
Dimensioni (L x l x H) (in cm x cm)	0,60 x 0,8 x 1,77	1,25 x 0,76 x 1,75	1,13 x 0,80 x 1,36	1,09 x 0,76 x 1,15	1,20 x 0,80 x 1,6	0,80 x 0,60 x 1,2	0,79 x 1,06 x 0,94	0,79 x 1,25 x 1,45	1,80 x 1,20 x 1,4	0,65 x 1,30 x 1,65
Peso (kg)	420	660	550	290	825	350	360	510	1600	370

Fonte: Dr. Uli Jakob, Solartherm, September 2008

Tabella 4.16: Macchine frigorifere di piccola taglia per il solar cooling (fonte: dr. Uli Jakob, SolarNext, 2008)

Di seguito si presenta un impianto solar cooling per la climatizzazione di un ufficio realizzato presso il CNT-ITAE⁶. I risultati del dimensionamento possono esser applicati per la progettazioni di sistemi di taglia ridotta ma di potenzialità diversa.

⁵ Per la valutazione delle prestazioni dei chiller ad adsorbimento, in relazione alla loro interazione energetica con il sistema di generazione solare, si può fare riferimento alle figure di merito riportate in UNI 11300-4. Per la valutazione delle prestazioni in esercizio si potrà fare riferimento (quando pubblicati) ai risultati dell'attività del Task 38 del Solar Heating & Cooling Programme della IEA.

⁶ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia "Nicola Giordano" (ITAE), Via Salita S. Lucia sopra Contesse n. 5, 98126, S. Lucia, Messina, ITALY Phone: +39.090.624.200 - Fax: +39.090.624.247, web: www.itae.cnr.it, mail: itae@itae.cnr.it

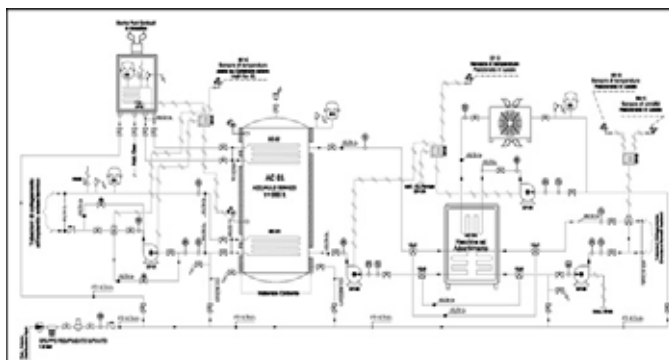


Figura 4.9: Schema funzionale "base" di un impianto solar cooling di piccola taglia

Lo schema esecutivo della centrale frigorifera solare del sistema realizzato è mostrato in Figura 4.9. Nell'immagine sono facilmente individuabili i componenti principali insieme a tutti i dispositivi di sicurezza e gli accessori per la gestione e il controllo.

Il vano/locale da climatizzare scelto per la realizzazione consiste in un piccolo container dedicato ad ufficio di cantiere le cui dimensioni complessive sono di 3,5 m (L) x 2,5 m (A) x 2,5 m (P).

In Figura 4.10 è visibile il container/ufficio allestito come "utenza" dell'impianto solar cooling realizzato. Il piccolo ufficio è situato nell'area esterna dell'Istituto ITAE.



Figura 4.10: Il modulo ufficio "utenza" dell'impianto solar cooling realizzato

Il dimensionamento dell'intero sistema è stato effettuato realizzando un modello dinamico tramite i software TRNSYS [3]. Il modello è stato quindi utilizzato per simulare il funzionamento del sistema durante l'intero periodo estivo (dal 15 giugno al 15 settembre) e calcolare le prestazioni ottenibili [8].

Al fine di prevedere la configurazione ottimale del sistema, si sono effettuate simulazioni ipotizzando l'installazione di pannelli solari sia di tipologia a tubi evacuati che quella piana. Fra le variabili del sistema

sono stati inseriti anche alcuni importanti parametri: il volume dell'accumulo termico, l'angolo di inclinazione e la superficie complessiva captante dei collettori solari.

Di volta in volta si sono valutate le prestazioni complessive del sistema solar cooling calcolando due parametri di riferimento:

- la frazione solare, ovvero la quantità di energia termica fornita dai collettori solari rispetto alla quantità di energia termica totale necessaria, come riportato nella seguente formula:

$$f = \frac{Q_{sol}}{Q_{sol} + Q_{cald}}$$

Dove:

f è la frazione solare (solar Energy supply);

Q_{sol} è l'energia termica fornita dai collettori solari in kJ;

Q_{cald} è l'energia termica fornita dalla caldaia di integrazione in kJ.

- Il REP (Rapporto Energia Primaria), ovvero il rapporto fra l'energia impiegata per il raffrescamento del carico rispetto al consumo di energia primaria necessario per il funzionamento dell'impianto, quindi gas consumato per il funzionamento della caldaia e consumo (elettrico) dovuto agli ausiliari:

$$REP = \frac{Q_{fr}}{Q_{gas} + Q_{aux}/0.37}$$

Dove:

Q_{fr} è il calore asportato dal locale da raffrescare;

Q_{gas} è l'energia primaria consumata dalla caldaia;

Q_{aux} è l'energia elettrica consumata dagli ausiliari (pompe, fan coil e dry coolers);

0.37 è il rendimento di centrale utilizzato come riferimento in Italia per convertire consumo di energia elettrica in consumo di energia primaria.

Individuate le figure di merito atte a descrivere le prestazioni del sistema, sono state effettuate alcune simulazioni preliminari allo scopo di determinare l'angolo di inclinazione ottimale dei collettori (azimut 0°). Si sono eseguite simulazioni ipotizzando l'installazione di collettori piani e di collettori del tipo a tubi sotto vuoto, mantenendo invariati gli altri parametri. I risultati ottenuti (Figura 4.11 e Figura 4.12) mostrano che l'angolo di inclinazione ottimale è 20° per entrambi i casi, anche se l'influenza della variazione di inclinazione è più evidente per i collettori piani: una riduzione della frazione di energia solare di circa il 25 % è apprezzabile cambiando l'angolo di inclinazione da 20° a 45°, mentre per i collettori a tubi sottovuoto tale variazione è contenuta in solo il 2%.

Per il completo dimensionamento del sistema si sono condotte altre simulazioni facendo variare il volume di accumulo termico e l'area complessiva dei collettori solari.

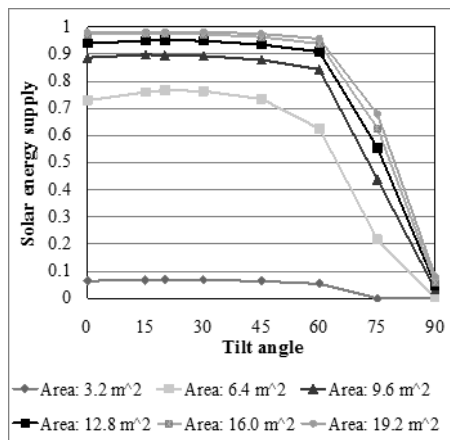


Figura 4.11: Grafico della frazione solare ottenuta al variare dell'angolo di tilt di installazione del campo solare, e della superficie netta captante (tubi sotto vuoto).

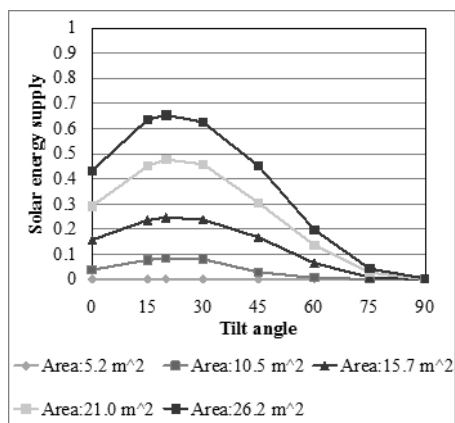


Figura 4.12: Grafico della frazione solare ottenuta al variare dell'angolo di tilt di installazione del campo solare, e della superficie netta captante (pannelli piani).

Al fine di determinare il valore massimo della superficie di collettori solari da simulare si è fatto ricorso ad una regola empirica riportata in [6]:

$$S = \frac{1}{G * COP * \eta}$$

dove:

S è la superficie specifica del campo di collettori in m^2/kW ;

G la radiazione media incidente durante il periodo di funzionamento dell'impianto in kW/m^2 ;

COP il Coefficient Of Performance della macchina impiegata;

η il rendimento medio dei collettori durante il periodo di funzionamento.

Considerando un valore medio di radiazione solare incidente di $700 \text{ W}/\text{m}^2$, un COP medio stagionale del refrigeratore ad adsorbimento di 0.45, un rendimento del campo solare a tubi sotto vuoto e a collettori piani di rispettivamente di 0.5 e 0.4, si ottiene che la superficie specifica ottimale di captazione è di 6.35 m^2 e 7.95 m^2 per ogni kW di freddo da produrre, rispettivamente per pannelli del tipo a tubi evacuati e piani.

Sulla base di questo calcolo si è scelto di effettuare simulazioni variando il volume di accumulo fra 300 e 750 l e la superficie captante complessiva dei collettori solari fino a 19.2 m^2 e 26.2 m^2 rispettivamente per pannelli evacuati e pannelli piani⁷.

La Figura 4.13 e la Figura 4.14 mostrano i risultati dell'analisi parametrica. È evidente come i collettori a tubi sottovuoto permettano di ottenere una fornitura di energia solare molto alta, pari a circa il 95% dell'energia totale richiesta, per volumi di accumulo termico compresi fra 500 e 750 l. Al contrario, i collettori piani permettono di raggiungere un valore massimo di frazione solare pari al 65% con un accumulo termico di 750 l, mentre una notevole riduzione del valore di frazione solare può essere osservata quando il volume di accumulo termico è ridotto.

La Figura 4.15 mostra l'evoluzione oraria, nella settimana più calda dell'anno (17-23 luglio), della temperatura ambiente interna per il sistema solar cooling ottimizzato utilizzando i risultati riportati nei grafici sopra (12.8 m^2 di collettori a tubi evacuati, 20° di inclinazione, 500 l di accumulo). I risultati mostrano come l'impianto solar cooling sia in grado di mantenere una temperatura interna confortevole (25°C), anche se la temperatura esterna supera i 35°C .

⁷ Il carico frigorifero massimo richiesto dall'utenza è di 3 kW frigoriferi (quasi 11000 BTU/h), per tanto i valori di superficie specifica riportati in precedenza, 6.35 e $7.95 \text{ m}^2/\text{kW}_f$, moltiplicati per il carico restituiscono rispettivamente 19.2 e 26.2 m^2 .

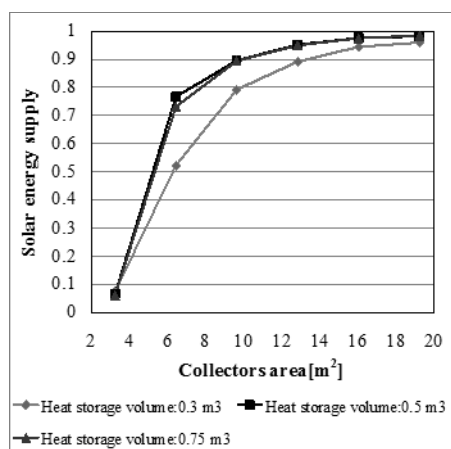


Figura 4.13: Grafico della frazione solare ottenuta al variare della superficie del campo solare e del volume dell'accumulo (tubi sotto vuoto).

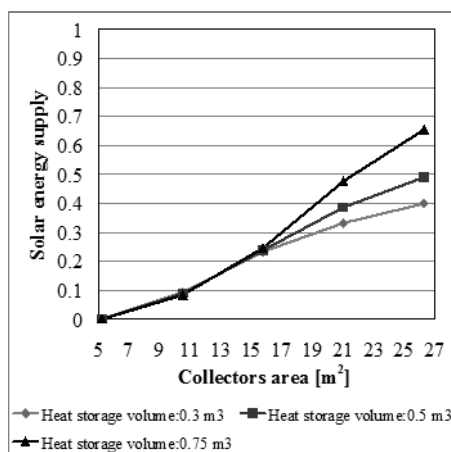


Figura 4.14: Grafico della frazione solare ottenuta al variare della superficie del campo solare e del volume dell'accumulo (pannelli piani).

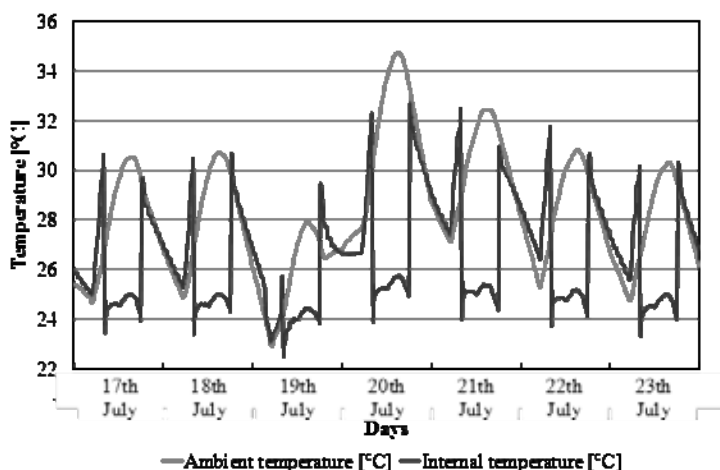


Figura 4.15: Andamento della temperatura all'interno del locale climatizzato durante la settimana più calda dell'anno.

La Figura 4.16 e la Figura 4.17 mostrano alcune immagini dell'impianto realizzato. In particolare la centrale frigorifera è stata realizzata secondo lo schema di Figura 4.9: l'acqua calda prodotta dal campo solare viene accumulata in un accumulo coibentato (2 in Figura 4.17). Il volume di questo accumulo è di 500 litri, valore desunto dai risultati del codice di calcolo presentato prima. L'accumulo è collegato a una caldaia a gas (1 in Figura 4.17) che fornisce calore al sistema quando la radiazione solare non è sufficiente a far funzionare in maniera corretta il chiller ad adsorbimento⁸. Al fine di gestire i flussi di energia e la loro priorità, dal campo solare e dalla caldaia a gas verso il refrigeratore ad adsorbimento, è stato installato un PLC (6 in Figura 4.17), su cui è stata implementata una logica di gestione appositamente progettata. La Figura 4.17, oltre all'intera centrale frigorifera, mostra il refrigeratore ad adsorbimento utilizzato in questo progetto: è stato installato un refrigeratore ad adsorbimento commerciale prodotto dalla Sortech gmbh, da 8kW di potenza frigorifera (mod. ACS 08) ed impiegante acqua come fluido frigorifero.

⁸ I risultati del modello di simulazione dinamica hanno dimostrato che la superficie captante del campo solare può fornire fino al 95% dell'energia termica necessaria per il sistema durante il funzionamento estivo.



Figura 4.16: Vista generale del campo solare a tubi sotto vuoto installato su una porzione di terrazza dell'Istituto CNR-ITAE di Messina.

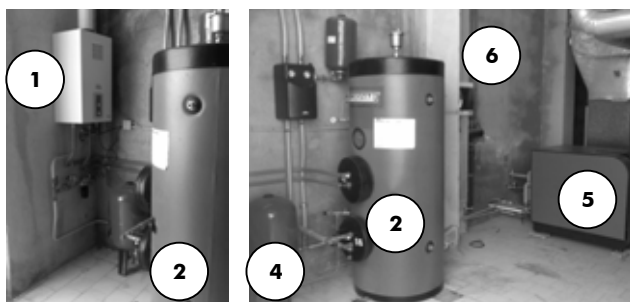


Figura 4.17: Due diverse viste della centrale frigorifera: 1 - caldaia a gas, 2 – accumulo, 3 - chiller ad adsorbimento, 4 - vaso di espansione, 5 - pompa solare e dispositivi di sicurezza, 6 - sistema di controllo elettronico (PLC).

4.9 - LEGNO E SICUREZZA ELETTRICA

4.9.1 PREMESSA - IL LEGNO BRUCIA...MA RESISTE!

In questi anni in cui il mercato edile, spinto dalle esigenze energetiche ed ambientali, ha avviato un processo di rinnovamento interno, pigro, ma potenzialmente senza precedenti, il legno si sta proponendo come "materiale da costruzione innovativo", in grado di coniugare esigenze di comfort, durabilità, risparmio energetico, ecc...

D'altronde una ampia fascia di pubblico, così come di operatori del settore edile, forse poco informati, denuncia una certa perplessità verso il legno. Essa scaturisce dalla convinzione che il legno, bruciando con facilità, sia meno sicuro e durevole di altri materiali, più 'tradizionali', quali il calcestruzzo armato, l'acciaio e il laterizio.

Al fine di scardinare quanto radicato nell'immaginario collettivo, diversi studi sperimentali, effettuati in ambito nazionale ed internazionale, hanno già dimostrato quanto sostenuto da addetti ai lavori, forti di conoscenze teoriche sui materiali, nonché di una buona dose di esperienza.

Le case di legno in caso d'incendio, dal punto di vista della loro resistenza strutturale, non risultano, in generale, più pericolose. Questo si può affermare analizzando, per esempio, i risultati conseguiti nel 2007 dal progetto di ricerca SOFIE (Sistema Costruttivo Fiemme). Coordinato dal CNR-IVALSA e finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento, il progetto ebbe come scopo la definizione di prestazioni e potenzialità dell'ormai classico sistema strutturale X-Lam (Cross Laminated Timber), nella costruzione di edifici a più piani.

Le prove distruttive effettuate presso il Building Research Institute di Tsukuba in Giappone, vista l'esiguità dei danni riportati dagli elementi strutturali dell'edificio (giudicati facilmente riparabili con piccoli interventi superficiali), consentono di affermare che un edificio a struttura portante di legno, realizzato con sistema X-Lam, non è più esposto di altri edifici al pericolo di incendio. Ciò, in particolar modo, ove si preveda il rivestimento delle pareti con strati di materiali isolanti e incombustibili, al fine di migliorarne quella che in gergo tecnico è nota come 'reazione al fuoco'.

Dunque il legno, da ottimo materiale combustibile, in presenza di una adeguata quantità di ossigeno, brucia. Ma ciò non significa che le strutture in legno siano più vulnerabili di altre dal punto di vista della 'resistenza al fuoco'. Tale proprietà, in effetti, prescinde dal tipo di materiale impiegato, dipendendo invece dalla geometria, dai carichi agenti e dalle condizioni di esposizione delle strutture. Essa è dunque da valutare caso per caso [1], [2], [3]. Anzi gli edifici in legno, progettati e costruiti con criteri moderni, sono molto apprezzati dal Corpo dei Vigili del Fuoco, in quanto, a differenza delle altre strutture,

è possibile prevederne i tempi di cedimento con un buon grado di confidenza, programmandone in tutta sicurezza l'evacuazione [4].



Figura 4.18: Simulazione di incendio presso il Building Research Institute (Progetto SOFIE - Tsukuba - Giappone, 2007)

Premesso dunque che, dal punto di vista strutturale, la resistenza al fuoco delle moderne case in legno sia garantita da una loro adeguata progettazione, d'altronde, è intuibile che l'installazione di impianti elettrici all'interno di strutture combustibili potrebbe renderle più vulnerabili per quanto attiene in generale alla sicurezza.

Quanto di seguito riportato, lungi dal potersi considerare esaustivo dell'argomento, intende fornire alcuni riferimenti e spunti, talvolta critici, per affrontare la problematica, senza lasciarsi intimorire dall'attuale ginepraio legislativo e normativo.

Dopo una rapida analisi della problematica, traendo spunto dalle attuali prescrizioni normative, verranno presentati alcuni provvedimenti e soluzioni pratiche che, puntando ad un'ottimale integrazione del sistema 'Edificio/Impianti', consentono di realizzare negli edifici in legno impianti elettrici sicuri e funzionali, o, come richiesto dal legislatore, "a regola d'arte".

4.9.2 ELETTRICITÀ E RISCHIO INCENDIO

In questi anni in cui il mercato edile, spinto dalle esigenze energetiche ed ambientali, ha avviato un processo di rinnovamento interno, pigro, ma potenzialmente senza precedenti, il legno si sta proponendo come "materiale da costruzione innovativo", in grado di coniugare esigenze di comfort, durabilità, risparmio energetico, ecc...

A livello nazionale l'edilizia in legno può essere considerata ancora un fenomeno di nicchia e ciò è riscontrabile anche dalla mancanza di uno specifico riscontro normativo riguardante l'impiantistica correlata a tale

moderna ed innovativa tipologia costruttiva. Non si può infatti affermare che esista tra le norme tecniche elaborate dal CEI, il Comitato Elettrotecnico Italiano, una sezione specifica che tratti esplicitamente l'argomento dell'impianto elettrico nell'edificio di legno, costringendo.

Analizzando la Norma CEI 64-8, la 'bibbia' del progettista elettrico, alla sua Parte 7 riguardante 'Ambienti ed Applicazioni Particolari' [5], troviamo un riferimento al 'legno' solo all'interno della sezione 751, che tratta, in generale, gli "Ambienti a maggior rischio in caso d'incendio" o ambienti MARCI, secondo un acronimo molto familiare tra gli addetti ai lavori.

L'articolo 751.03 della stessa, sottolinea che "le caratteristiche di valutazioni dei rischi di incendio ai fini della classificazione degli ambienti...devono essere considerate come dati di progetto" e rimanda la classificazione del luogo ad altra normativa⁹. Di fatto però l'articolo, distinguendoli dai cosiddetti 'luoghi ordinari', classifica come a maggior rischio gli edifici aventi strutture portanti combustibili (vedi Legno). Questi, al comma 03 del medesimo articolo (751.03.03), vengono definiti 'ambienti di Tipo B', per distinguerli da quelli 'con elevata densità di affollamento' o da quelli 'con presenza di materiale infiammabile o combustibile in lavorazione', classificati anch'essi come luoghi MARCI, ma rispettivamente di 'Tipo A' e di 'Tipo C'.

Ora benché la valutazione dei rischi dal punto di vista dell'incendio non rientri d'ufficio tra le attività del progettista elettrico, né essa sia da effettuare a priori¹⁰, sarà lo stesso tecnico tenuto a chiarire comunque ogni dubbio e prendere tutti i provvedimenti del caso per garantire 'la regola dell'arte'.

Tralasciando qui di considerare come causa d'incendio le fiamme libere, stufe e camini¹¹, si ricorda che i componenti elettrici riscaldano nel funzionamento ordinario, ma soprattutto in caso di guasto, sicché realizzare un impianto elettrico a contatto o dentro le strutture in legno, richiederà necessariamente l'applicazione di accorgimenti particolari.

In generale, l'impianto elettrico può essere causa d'incendio per diversi motivi:

⁹ D.Lgs 81/08 "Testo Unico sulla Sicurezza" (ex D.Lgs 626/94); D.M. 10/03/98 "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro".

¹⁰ Tali valutazioni sono da effettuare obbligatoriamente se l'edificio in oggetto è sottoposto a controllo da parte dei VVFF ai fini del rilascio del "Certificato di prevenzione Incendi", ossia se si svolgono attività elencate nel DM 16-02-1982. Resta incerto il caso dei luoghi MARCI non soggetti ad attività lavorative.

¹¹ L'utilizzo di stufe a legna e camini nelle case in legno presuppone la messa in opera di opportuni accorgimenti per i passaggi tetto e pareti delle canne fumarie [6].

1. Scintille (particelle incandescenti) ed archi elettrici. Particelle incandescenti che possono essere prodotte e diffuse a seguito del danneggiamento di un componente elettrico (es: scoppio di una lampadina), archi elettrici che si sviluppano per l'azionamento di interruttori (archi funzionali) o per guasto, tra le fasi o verso massa;
2. Punti caldi. Riscaldamento localizzato e potenzialmente a rischio che può aversi a seguito di connessioni lasche, correnti verso terra per guasti permanenti oppure per errato dimensionamento dei componenti.
3. Scariche atmosferiche. Fulmini che possono abbattersi sull'impianto, per fulminazione diretta della struttura, o per sovratensioni indotte, sollecitando comunque i componenti elettrici con ripidi fronti di corrente e tensione, e mettendo gli stessi a rischio di fusione o di esplosione.



Figura 4.19: Potenziali cause d'incendio elettrico (archi elettrici; punti caldi; scariche atmosferiche).

A tali rischi, del tutto ordinari, si devono aggiungere alcune criticità specifiche di cui possono essere oggetto le moderne abitazioni in legno.

Se il legno strutturale di per sé è un combustibile, d'altronde bisogna considerare che la presenza di intercapedini, cosiddette 'porta-impianti', a parete e/o a pavimento, può creare condizioni di rischio particolari. Nelle intercapedini il principio di incendio può covare a lungo senza rivelarsi, d'altronde la maggiore presenza di aria può facilitare l'incendio e potenzialmente 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 ¹², può contribuire ad innalzare il livello di rischio elettrico.

¹² La canapa idoneamente trattata raggiunge una classe di resistenza al fuoco pari a 2, ovvero la sua combustione cessa 20 secondi dopo che la fiamma che la alimenta viene allontanata.



Figura 4.20: Intercapedini porta-impianti di strutture di legno, coibentate con fibre combustibili

4.9.3 ACCORGIMENTI E MATERIALI

Una volta note le cause di incendio e analizzati i rischi specifici, si può passare alla progettazione dell'impianto elettrico. A tal proposito, oltre ai criteri generali di esecuzione indicati dalla normativa, si farà riferimento alle indicazioni contenute nel citato articolo 751 della CEI 64-8/7, il quale prescrive alcuni criteri specifici riguardanti i metodi e i materiali da utilizzare per limitarne il verificarsi, o ridurre i danni che possono presentarsi, a seguito dell'evento sfavorevole [5], [7], [8].

Posto che i componenti elettrici dovrebbero essere limitati a quelli strettamente necessari e non devono costituire pericolo di innesco o di propagazione di incendio per i materiali adiacenti, limitando l'interesse attuale alla posa incassata entro intercapedini combustibili e termicamente isolanti, nella realizzazione di un impianto elettrico in un edificio in legno bisogna considerare i seguenti aspetti:

- **Condutture** - Al fine di evitare che eventuali scintille fuoriescano dal componente e vadano a lambire parti combustibili le condutture (scatole e cassette di derivazione comprese) devono presentare, almeno verso le strutture combustibili, grado di protezione minimo IP4X¹³ ($IP \geq 4X$), indipendentemente dalla classe di reazione al fuoco delle pareti.
- **Tubazioni isolanti** - Anche se i cavi saranno provvisti di guaina, devono essere segregati rispetto all'ambiente circostante, utilizzando idonea tubazione, anche isolante (rigida o flessibile)¹⁴. Le tubazioni isolanti devono aver superato la prova del filo incandescente (Glowing Wire Test o GWT)¹⁵ a 750 °C. Tale requisito è soddisfatto in pratica da tutti i tubi corrugati.
- **Scatole e cassette (portafrutto, portacentralino, di derivazione)** - Devono essere conformi alla installazione all'interno di pareti ad

¹³ Per componente con grado di protezione IP4X si intende un componente protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 1 mm e contro l'accesso con un filo.

¹⁴ Conforme alla norma EN 61386-1 (CEI 23-80) "Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche"

¹⁵ Le modalità di prova del GWT sono stabilite dalla norma EN 60695-2-11 (CEI 89-13).

intercapedine, in cartongesso o legno, realizzate in materiale plastico speciale (tecnopolimero autoestinguente) ed aver superato il GWT a 850 °C (marcate con 'H' o recanti informazione che sono adatti al tipo di posa)¹⁶. Figure 4.4 ÷ 4.6. In alternativa esistono diverse soluzioni per 'schermare' le comuni scatole per pareti piene (Tipo 503). Fig. 4.7.

- *Protezione differenziale* – Per limitare l'eventualità di punti caldi dovuti a correnti di dispersione, è opportuno proteggere tutti i circuiti con interruttori differenziali ad alta sensibilità ($I_{dn} \leq 0.3 \text{ A}$, per circuiti terminali; $I_{dn} \leq 1 \text{ A}$, per circuiti di distribuzione) e conduttore di protezione (PE).
- *Conduttore di protezione* - Per favorire l'intervento dell'interruttore differenziale in caso di guasto a terra (non franco), come cautela aggiuntiva, l'impiantistica statunitense utilizza cavi multipolari con all'interno il conduttore di protezione nudo. Questo va previsto anche su cavi che alimentano circuiti non collegati a terra (es: il comando luci), curando di effettuare il collegamento a terra entro le cassette di derivazione.
- *Cavi (tipo)* - Adottando il grado di protezione IP4X per tubazioni e scatole, la norma non pone particolari restrizioni per la tipologia di cavi. Essendo sufficiente il tipo 'non propagante l'incendio'¹⁷, potrebbe utilizzarsi la classica cordina N07V-K (unipolare), anziché i più impegnativi cavi multipolari con PE, ossia FROR o (meglio) FG7(O)M1. I multipolari però sono fortemente consigliati per quanto riportato al punto precedente.
- *Cavi (portata)* - La portata dei cavi posati entro intercapedini termicamente isolanti 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. Usando conduttori con isolamento in PVC (cordina o FROR), è opportuno prevedere sezioni da 4 mm² per l'alimentazione di circuiti prese protetti con interruttori magnetotermici con In 16A.
- *Apparecchi di illuminazione* – Poiché nel loro funzionamento normale riscaldano, nella loro scelta bisogna 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 rimanda¹⁸. Da preferire apparecchi a

¹⁶ Conformi alla norma EN 60670-1 (CEI 23-48).

¹⁷ Non si considera qui il caso di luoghi con affollamento, ecc., ove sono richiesti cavi speciali del tipo LSOH.

¹⁸ Si ricorda che la norma di prodotto relativa alla costruzione degli apparecchi di illuminazione (CEI 34-21) vieta l'installazione dei corpi illuminanti su superfici in

sospensione o in alternativa utilizzare, ove possibile, gli appositi schermi. Fig. 4.8, 4.9. Attenzione va prestata anche ad eventuali alimentatori indipendenti.

- *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.

Trattando di edifici in legno, un'attenzione particolare merita poi la protezione dal "rischio fulmine".

Effettuando il calcolo in base alla norma CEI 81-10, si sottolinea l'opportunità di procedere, qui più che altrove, ad una attenta valutazione dei danni economici che potrebbe subire l'edificio a seguito di una scarica atmosferica¹⁹, predisponendo tutte le misure di protezione necessarie.

Evitando di cadere nel 'mito della autoprotezione'²⁰, si consiglia di installare opportuni scaricatori di sovratensione a protezione di tutti gli impianti presenti, sia elettrici che di segnale (telefono, dati, ...) e verificare l'opportunità tecnico-economica di realizzare un moderno impianto di protezione da scariche atmosferiche (Lighting Protection System o LPS) ... il vecchio e sempre utile parafulmine.

Figura 4.21: Intercapedini porta-impianti di strutture di legno, coibentate con fibre combustibili



legno il cui spessore sia inferiore a 2 mm.

¹⁹ Per la complessità del calcolo e la difficoltà nel reperire i dati necessari (dovrebbe fornirli il committente), spesso il rischio economico viene trascurato, valutando unicamente il rischio di perdita di vite umane.

²⁰ Se in base ai calcoli il livello di rischio è ritenuto accettabile l'edificio si definisce "autoprotetto" e la norma non richiede ulteriori misure di protezione contro i fulmini. Ma trattandosi di un calcolo di probabilità, ciò che è accettabile per un edificio tradizionale in muratura, può non esserlo per uno in legno.

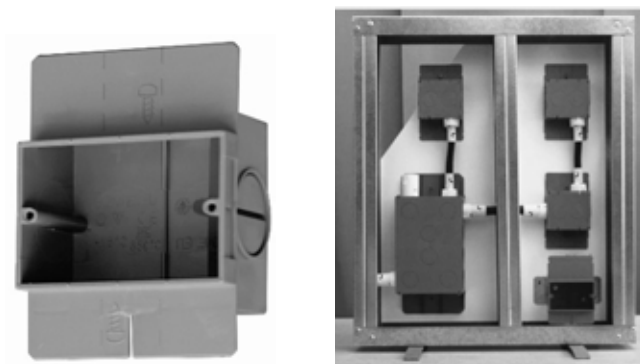


Figura 4.22: Esempio di scatola e sistema completo, adatti per installazioni in intercapedini

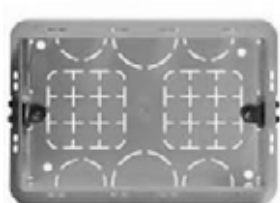


Figura 4.23: Comune scatola portafrutto (tipo 503), non adatta per le 'case in legno' (IP<4X; GWT 650° C).

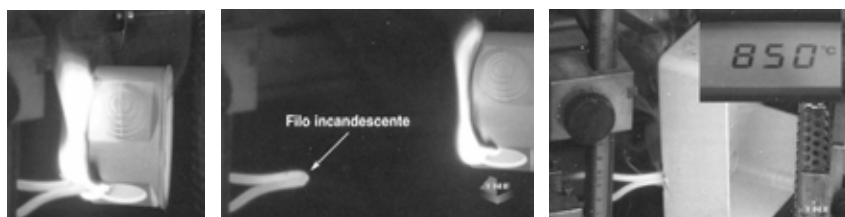


Figura 4.24: La prova del filo incandescente a 850°C, superata dalla scatola a destra (Fonte: TNE).

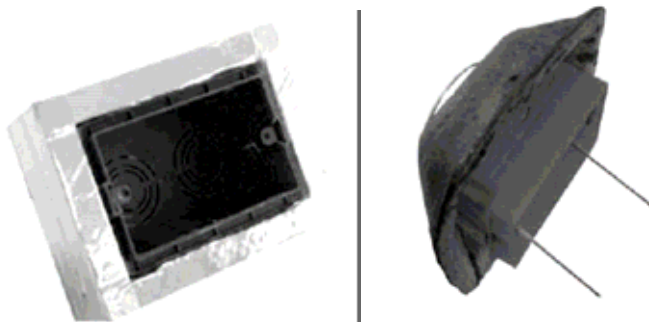


Figura 4.25: Soluzioni alternative: involucri (rigidi o in fibre minerali) contenenti scatole 503 tradizionali.

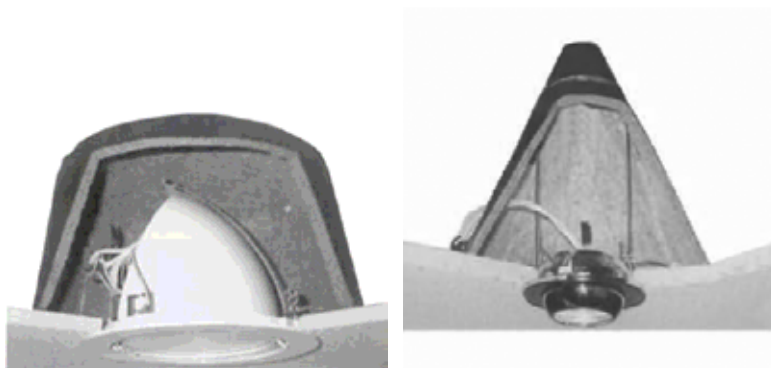


Figura 4.26: Schermi a base di fibre minerali per ricoprire gli apparecchi di illuminazione idonei.



Figura 4.27: Simbologie per apparecchi di illuminazione EN 60598-1 (CEI34-21), rispettivamente: a) adatto per posa diretta su superficie combustibile (simbolo 'F'); b) non adatto per posa diretta su superficie combustibile; c) non adatto per posa incassata in superficie combustibile; d) non idoneo ad essere ricoperto.

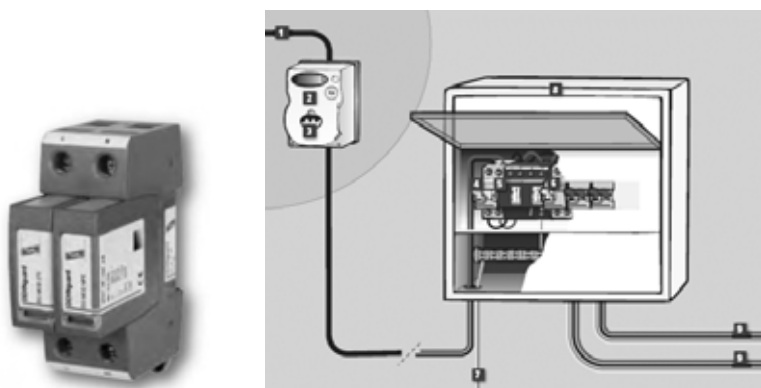


Figura 4.28: Scaricatori di sovratensione e loro alloggiamento nel quadro.

Infine è quasi superfluo ricordare che, al fine di mantenere elevato il livello di sicurezza, in generale, è opportuno proteggere gli edifici costruiti con materiali combustibili con un semplice impianto di rivelazione incendi realizzato in conformità alla norma UNI 9795.

In conclusione, si può affermare che, grazie ad un opportuno lavoro di integrazione impiantistico-architettonica, facilitato dalla disponibilità commerciale di materiali e soluzioni tecnologiche, è oggi possibile

realizzare edifici in legno, non meno sicuri, dal punto di vista elettrico, di quelli tradizionali.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] UNI EN 12831:2006 – “Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto”.
- [2] Carlo Pizzetti - “Condizionamento dell'aria e refrigerazione. Teoria e calcolo degli impianti”, 1986, Editore CEA
- [3] TRNSYS, edit. Thermal Energy System Specialists, LLC 22 North Carroll Street, Suite 370 Madison, WI 53703 USA, <http://www.trnsys.com/>.
- [4] Henning H. M., “Solar assisted air conditioning of buildings – an overview”, Applied thermal engineering, 27, pp. 1734-1749, 2007
- [5] Attività PAR 2007 , Condizionamento Estivo, Accordo di Programma MSE/CNR per l'Attività di Ricerca di Sistema, <http://www.ricercadisistema.cnr.it>
- [6] Henning H. M., “Solar – assisted air – conditioning in buildings. A handbook for planners (second revised edition)”, Springer Wien, NewYork, 136 p, 2007.
- [7] Paul Bourdoukan [http](http://www.iea-shc.org/publications/downloads/Report_C2A_final.pdf), “Description of Simulation Tools Used in Solar Cooling - A Technical Report of Subtask C”, November 2009 - http://www.iea-shc.org/publications/downloads/Report_C2A_final.pdf
- [8] S. Vasta, A. Frazzica, A. Freni, G. Restuccia, “Simulation of a small size adsorption air conditioning system driven by solar energy”, Proceedings of the 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, 30 Sep - 2 Oct, Palermo, Italy, 2009, ISBN 978-3-941758-06-9, pp. 83-88.
- [9] DM 16 Maggio 1987 n. 246 “Norme di sicurezza antincendio per gli edifici di civile abitazione”.
- [10] DM 16 Febbraio 2007 “Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione
- [11] DM 9 Marzo 2007 “Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco”.
- [12] A.A.V.V. – “Linee Guida per l'Edilizia in Legno in Toscana” –Regione Toscana – 2009.
- [13] 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”
- [14] Gianni Cecchinato – “Finalmente canne fumarie sicure per le case di legno” – Tetto e Pareti in Legno, N. 32 – Settembre 2008
- [15] Vito Carrescia – “Impianti elettrici nei luoghi a maggior rischio in caso d'incendio” - Fondamenti di Sicurezza Elettrica - Edizioni TNE, 2009

- [16] “Impianti Elettrici in Ambienti Legnosi” – TuttoNormel – TNE -
Febbraio 2010

Sistemi integrati e sostenibilità negli edifici in legno

5.1 INTRODUZIONE

Prima dell'avvento dell'industrializzazione del processo di produzione edilizio l'oggetto architettonico è costituito quasi esclusivamente da componenti strutturali che assumono oltre alla funzione del 'tenere' le altre funzioni di confort abitativo (protezione, riparo, ecc.) sfruttando semplicemente le caratteristiche dei materiali e le condizioni climatiche del sito. Quasi sempre c'è un fuoco con i fumi più o meno regimentati, a volte qualche cavedio o canale di scarico delle acque. C'erano anche i 'decori', ben integrati con gli elementi strutturali, a volte essi stessi componenti strutturali. Furono questi, per primi ad essere 'attaccati' con l'avvento dell'architettura dell'era industriale e razionale (noto, in merito il volume "Parole nel vuoto" di Adolf Loos) associando, spesso, all'abitazione la figura retorica di 'macchina'.

In sostanza si passa da un'architettura inerziale passiva o massiva (involucro semplice di chiusura) ad una architettura contenete componenti attivi (reti di servizio e di flusso energetici); i manufatti architettonici non sono più composti da sole masse che definiscono e separano un interno da un esterno.

Col tempo gli edifici diventano più 'leggeri', diafani complessi, ricchi di nuove componenti e sistemi. Si producono singoli elementi o sistemi di elementi, componenti pre-finite, sino alla quasi totale prefabbricazione di porzioni o intere abitazioni (piccoli edifici trasportabili su gomma).

In buona parte del mondo industrializzato si punta sulla ricerca di sistemi facilmente 'integrabili' e alla riduzione dei tempi di cantiere spostando l'attenzione su progettazione, programmazione e prefabbricazione.

In Italia, e soprattutto nell'edilizia residenziale, per varie ragioni politiche ed economiche, ha prevalso, e tuttora prevale, la realizzazione in opera degli edifici, di buona parte delle strutture e dell'assemblaggio di tutte le componenti. Inoltre la realizzazione a umido (soprattutto in latero-cemento) ha sempre richiesto una insignificante elaborazione progettuale e quasi nessuna programmazione a vantaggio della definizione delle opere direttamente in cantiere. Il progetto è sempre stato ridotto a quantificare, definire il 'cosa' deve essere realizzato (i volumi, la configurazioni spaziale, il trattamento delle superfici, le distribuzioni funzionali) e non le qualità, il 'come' e soprattutto il 'perché', le relazioni fra le singole componenti dell'edificio e fra questo ed il contesto ambientale in cui è inserito.

Le conseguenze di tale politica edile ha determinato un deterioramento del settore causato prevalentemente da:

- fossilizzazione su poche tipologie costruttive;

- indifferenziazione di materiali e relative tecniche costruttive;
- ricerca di convenienza economica nelle forniture di prodotti sempre più standardizzati;
- specializzazione mono settoriale delle maestranze;
- necessità di manodopera poco qualificata.

Ma la conseguenza più grave, a nostro parere, è la riduzione di possibilità di ricerca e innovazione tecnologica, sempre più relegate ad ambiti operativi e settori di mercato di nicchia.

Ciò che si è affermato è un sistema costruttivo relativamente banale e consuetudinario, prevalentemente realizzato e modificato in opera. Il passaggio dall'architettura 'inerziale', passiva all'edilizia industriale è stato segnato essenzialmente dall'inserimento di nuovi 'orpelli' e sistemi giustapposti ad un corpo senza qualità e sempre più scarso. In tal caso più che di integrazione architettonica si deve parlare di giustapposizione di componenti.

Un sistema integrato è tale, invece, se le singole componenti dell'edificio risultano distinte ma interconnesse, legate tra loro da un preciso e preordinato sistema di relazioni tali da rendere più efficiente il complesso ed efficaci le soluzioni. Nei sistemi integrati le singole componenti svolgono più d'una funzione, almeno una propria o principale ed altre di supporto e/o relazione.

In genere sono scoperte scientifiche, di materiali e tecniche, o il cambiamento di condizioni di stato (energia, ambiente, ecc.) ad innescare processi virtuosi di innovazione ed uno di questi si verificò negli anni settanta con la prima grande crisi energetica.

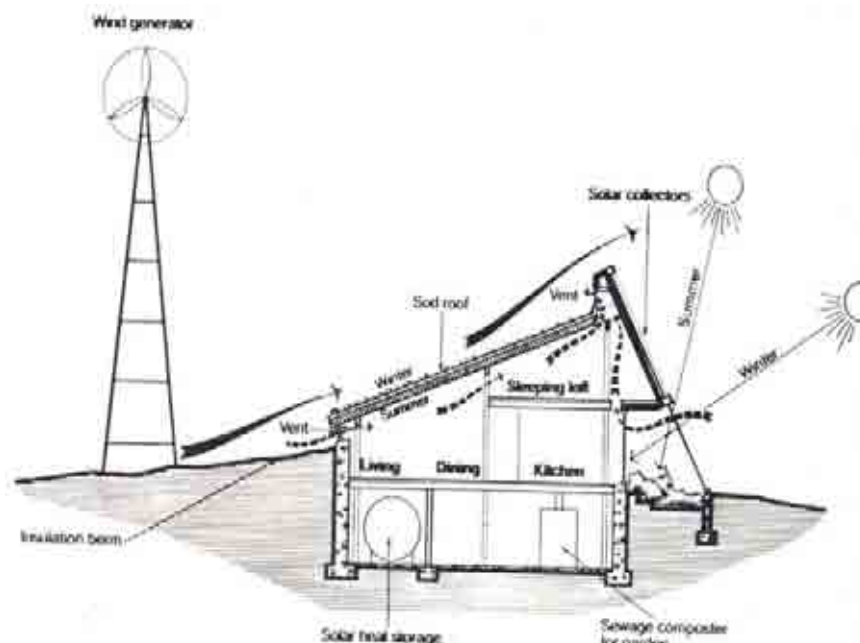


Figura 5.1: Ouroboros south house, Rosemount – Minnesota – U.S.A. – 1973/74. Progettata e costruita dagli studenti della Università di Minnesota sotto la direzione di Dennis Holloway. Questa casa rappresenta un tentativo di realizzazione di un sistema integrato autosufficiente utilizzando "i diversi flussi e ritmi di energia che attraversano il nostro ambiente" con materiali e tecniche costruttive a basso costo. Tratte da *l'Architettura della Evoluzione* di Los S. e Pulitzer N)

La nascita dei movimenti ecologisti in quegli anni non erano solo una risposta alla crisi in atto (ecosistemi, realizzazione e gestione di sistemi complessi, autosufficienza energetica, ecc.) ma nascevano e si sviluppavano all'interno del più ampio movimento di contestazione socio politica; era parte di quel nuovo modo di vivere definito alternativo. Sconfitta sul piano politico e pian piano anche su quello sociale, con quell'esperienza molte sue istanze vennero relegate ai margini della sperimentazione scientifica e sociale.

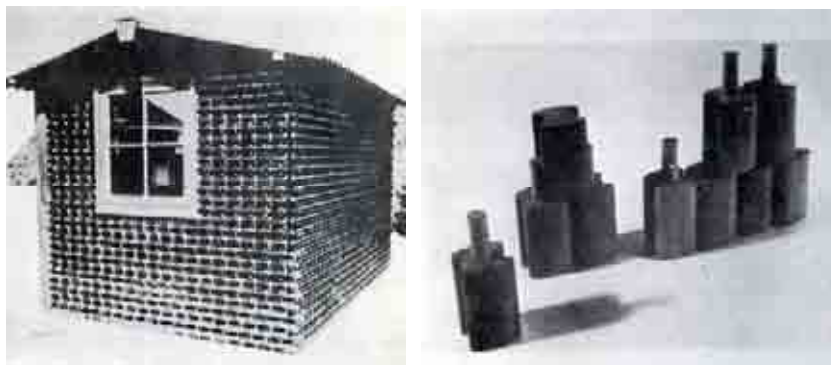


Figura 5.2: Wobo Project di N.J. Habraken – anni '60. Questo progetto è un sistema aperto che riunisce componenti e risorse disponibili localmente, comprendenti prodotti e rifiuti da assemblare per costruire edifici. Tratte da l'Architettura della Evoluzione di Los S. e Pulitzer N.

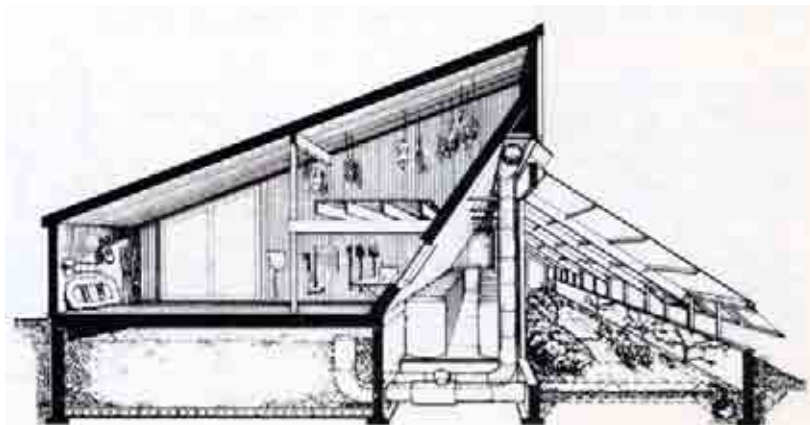
In Italia, uno fra gli stati più dipendenti dal punto di vista energetico, la rovina del pensiero ecologico e delle sue applicazioni in ambito ambientale ed energetico è stata più profonda che altrove.

Solo nella seconda metà degli anni novanta si rinnova l'interesse verso i temi cari all'ambientalismo. In particolare l'attenzione si rivolge ancora all'energia e soprattutto alle disastrose conseguenze ambientali prodotte dal modello di sviluppo neocapitalista. Nasce l'era della "sostenibilità".

Ridurre i consumi, operare sui processi, chiudere cicli, integrare sistemi, si passa in pochissimo tempo dall'efficienza tecnologica per ridurre gli impatti, alla decrescita felice, alla riduzione essenziale dei bisogni.

Ciò che lentamente viene recuperato anche dal movimento ecologista degli anni 70 sono i concetti di complessità, di integrazione organica, di approccio sistemico, l'inclusione del pensiero biologico e delle biologia stessa nel mondo "artefatto".

L'applicazione di questi concetti alla progettazione architettonica conduce alla realizzazione di edifici complessi in cui tutte le componenti sono integrate, interdipendenti ma autonome. Inoltre, per l'impiego di risorse naturali, l'applicazione dei principi della bioclimatica, necessitano che l'abitazione si orienti, che il sistema casa si relazioni, si integri ai fattori climatici, idrogeologici, ecologici.



*Figura 5.3: Prince Edward Island Ark – Progetto del New Alchemy Institute (NAI) - Little Pond – Canada – 1969/76. La casa comprende due parti: nella prima si collocano l'abitazione, il deposito e la vasca di accumulo di calore; nella seconda parte, esposta a sud, è localizzata la serra in parte destinata alle coltivazioni per l'autoconsumo. Tratte da *l'Architettura della Evoluzione* di Los S. e Pulitzer N.*

Per la realizzazione di abitazioni ecologiche, solari, integrate, ecc., abbiamo a disposizione know how, materiali, tecniche e tecnologie; manca una adeguata politica e programmazione da parte degli enti pubblici (un adeguamento degli uffici tecnici e una corretta ed esaustiva applicazione della normativa), e soprattutto il recupero di quelle lacune accumulate in tanti anni di 'monocultura' costruttiva, ossia:

- sperimentazione ed innovazioni tipologiche;
- differenziazione dei materiali e delle tecniche costruttive;
- sviluppo di tecniche e risorse locali;
- formazione di mano d'opera specializzata nell'applicazione di nuove soluzioni tecnico – tipologiche.

5.2 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 li regolano.

Nello specifico, la realizzazione di un edificio come sistema è dato come il risultato delle interazioni fra l'ambiente costruito stesso e l'ambiente naturale che lo circonda. 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. Si potrebbe rappresentarlo come un insieme di tre sistemi tra loro correlati: l'architettonico, l'ambiente e l'abitare.

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 per sistemi
- Verifica: tecnico ambientale e tecnico economica
- Rimodulazione esecutiva
- Controllo: assemblaggio
- Gestione del sistema

È possibile realizzare un manufatto edilizio impiegando materiali e sistemi strutturali differenti, senza alterare la logica organizzativa proposta.

Qui si sceglie di analizzare sistemi a secco ed in particolar modo sistemi strutturali in legno per specifiche proprietà che li rende appropriati a soddisfare tutti i requisiti necessari all'ottenimento di sistemi integrati con un alto valore aggiunto in termini di sostenibilità. 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. Tenendo conto che è possibile produrre case in legno totalmente prefabbricate o totalmente auto costruite in cantiere, tratteremo una via di mezzo, una prefabbricazione di singole componenti (sicuramente la struttura portante) assemblate in cantiere. 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.

5.3 PROGETTARE PER 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. Nei primi, spesso realizzati con tecniche a umido (si fa riferimento soprattutto all'edilizia residenziale di piccola e medie dimensioni, ossia la più diffusa in Italia) progetto e programma assumono un ruolo quasi di orientamento alle successive fasi di cantierizzazione.

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. È facile intuire come ciò accade se si pensasse alla prefabbricazione totale dell'edificio: il cantiere si riduce alla realizzazione della base di fondazione del manufatto che è integralmente realizzato e premontato in laboratorio. Fra la prefabbricazione totale e la realizzazione completa a pie' d'opera ci sono varie tipologie di intervento intermedie, ma tutte quelle che includono fattori come:

- analisi ambientale e climatica;
- scelta appropriata di tipologia strutturale;
- montaggio a secco;
- integrazione tecnologica;
- efficienza energetica;
- qualità ambientale interna

hanno bisogno di una importante e consistente fase di elaborazione tecnica ed economica indipendente da dove e come viene realizzato il manufatto; prefabbricato o meno un edificio integrato è caratterizzato da una continua attenzione e cura delle connessioni, delle relazioni fra abitante e casa, casa ed ambiente, fra tutte le componenti che infine definiscono lo spazio dell'abitare.

In tal caso la definizione progettuale dell'edificio, il disegno del progettista già in fase definitiva (definizione necessaria per le autorizzazioni amministrative) deve contenere soluzioni che ben integrano elementi dei tre principali ambiti di intervento: tipologia strutturale, sistemi tecnologici, finiture (interne ed esterne). Più il processo di definizione svilupperà in forma integrata gli ambiti suddetti meno cambiamenti inattesi si avranno in fase di verifica finale.

L'iter progettuale è determinato dalla funzione di processo fondamentale per i sistemi viventi: il feedback, la retroazione del

sistema. Esempificando: viene definita una bozza di progetto per raggiungere determinati risultati (meccanici, qualitativi, efficienza); segue verifica e se i risultati, diciamo effettivi, si allontanano da quelli di progetto (risultati attesi) si interviene modificando lo stesso progetto, ossia si retroagisce sulle ipotesi fatte. I cicli di definizione, verifica e retroazione si dovrebbero ripetere fino a quando i valori di progetto, quelli attesi (che contengono anche desideri e sogni dell'abitante futuro) sono abbastanza vicini a quelli verificati. Va da sé che se il progettista possiede tutte le competenze in sé i tempi del processo su descritto si riducono notevolmente. Dato che di tali supereroi se ne trovano pochi in circolazione, per ottenere un progetto di edificio come sistema integrato consigliamo la costituzione di un gruppo di lavoro ben differenziato per competenze specialistiche, i mitici gruppi interdisciplinari. È molto più semplice e divertente, in gruppo, riuscire a controllare tutte le variabili di un progetto architettonico orientate ad ottenere un preciso risultato: funzionale, efficiente, sostenibile, e molto probabilmente bello.

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 su 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, Platform Frame, Blockhaus, Strutture Intelaiate a Travi e Pilastri massello o composti, ecc.. Ad esclusione del Blockhaus massiccio, tutti gli altri possono essere definiti come sistemi portanti a sezione ridotta. 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; possono usufruire di una superficie continua di ancoraggio permettendo la massima libertà nell'ordire e distribuire qualsiasi ulteriore componente, sia esso associabile ad un piano, una rete o ad un sistema di punti;
- 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. Ciò consente di poter predefinire con grande precisione la distribuzione, le connessioni discrete o continue, le stratificazioni ed il dimensionamento di ogni singolo componente, con la certezza che in fase di montaggio le discrepanze possibili fra progetto e messa in opera saranno quasi insignificanti.



Figura 5.4: Parete di un edificio Xlam.

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 altre 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; potremo avere modularità da 50 cm (alcuni pannelli isolanti) da 60 cm e sui multipli (più diffuso fra pannelli di legno, cartongesso o fibrogesso, ecc.) o sottomultipli di 200 (pannelli in legno cemento): ovviamente in una sequenza del genere 50 – 60 – 200 il secondo passo non può modularsi con gli altri due. 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.

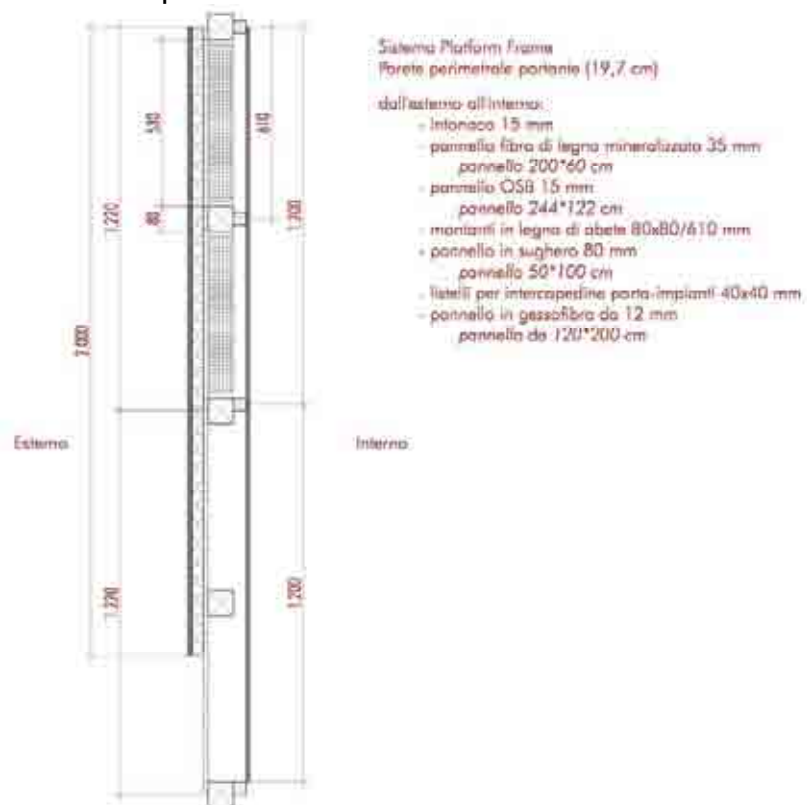


Figura 5.5: In una parete realizzata col sistema PlatformFrame, all'interno, il passo di 122 cm dell'OSB e dei montanti si associa male con le dimensioni del pannello di sughero (ma anche con quello in fibra di legno) e ancora peggio con il passo del cartongesso o fibrogesso. Soluzioni possibili, diversamente 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 legno cemento (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. Sono queste, assieme alla configurazione spaziale dell'edificio a determinare la scelta della tipologia strutturale e a definirne le caratteristiche dimensionali.

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 installi impianto 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 grava sui seguenti aspetti:

- sezioni dei pacchetti con razionalizzazione della stratificazione delle reti e programmazione dell'ordine di assemblaggio (ogni sistema ha proprie peculiarità di montaggio e passare prima uno o l'altro non è indifferente);
- controllo delle forature degli elementi strutturali (nel montaggio degli impianti spesso si riducono le sezioni resistenti della struttura, pannello o telaio che sia, con estrema leggerezza) sia orizzontali (meno problematici se programmati) che verticali;
- attraversare gli elementi lignei con reti elettriche e canne fumarie è fattibile ma con opportune precauzioni (cfr. cap. Ninni...);
- 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 due aspetti peculiare 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 una casa di legno si muove, 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.

Non è facile in Italia accettare quest'ultimo assunto. Infatti, nella maggior parte della produzione edile, il ruolo del progettista è, dalla committenza ridotto quasi a sbriga faccende e dalle imprese a 'complicazioni inutili': i risultati sono sotto gli occhi di tutti.

5.3.1 VERIFICA TECNICO AMBIENTALE E TECNICO ECONOMICA

Si è scelto di suddividere le fasi di verifiche progettuali in due parti (tecnico-ambientale e tecnico-economica) per la peculiare procedura amministrativa italiana per l'ottenimento delle dovute autorizzazioni, peculiarità data dalla 'ferrea' applicazione dei regolamenti nella gestione quantitativa dello sviluppo e nessuna, anche minima concessione soddisfacenti requisiti di qualità ed efficienza.

Qui non si produce architettura si produce edilizia. Solo da pochi anni dovrebbe essere inevitabile realizzare edifici per lo meno efficienti e da ancor meno, alcuni Comuni cosiddetti virtuosi iniziano ad orientare lo sviluppo urbano e architettonico verso criteri di qualità utilizzando premi o sgravi per chi opera secondo requisiti di sostenibilità ambientale. 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). Infatti uno dei prodotti maggiormente innovati in Italia è il coppo.

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. Il legno in generale, a meno di differenze specifiche nelle varie tipologie oggi in uso, ha dei limiti prestazionali oltre i quali necessitano soluzioni speciali o ibridazioni tecnologiche. Per chi non è avvezzo all'uso strutturale del legno sappia che non ha niente a che fare con le tipologie a telaio in acciaio o calcestruzzo armato, che spingere le performance oltre certi limiti comporta accettare soluzioni tipo 'collaboranti' legno – acciaio o legno – calcestruzzo che oltre ad incidere sui costi dell'opera può creare non pochi problemi per chi ha scelto di rispettare i principi della bioarchitettura. Nel comporre superfici e volumi, oltre a rispettare le norme urbanistiche è bene verificarne 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 confort ambientale interno. In questi casi la verifica di sostenibilità ambientale è di per se data. Infatti:

- il legno (e suoi derivati) è prodotto da una delle poche fonti energetiche definibile come illimitata: il sole;
- la sua produzione richiede un sesto dell'energia necessaria per produrre lo stesso elemento in acciaio;
- una casa in legno richiede la metà di energia primaria di una costruzione in latero - cemento;
- non ha alcun 'debito di carbonio' e riduce, piuttosto che incrementare, l'impronta ecologica dell'edificio;

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.

È bene chiarire che le analisi economiche dei prodotti edili (e non solo) riferite ai solo prezzi di mercato sono per lo più fallaci in quanto non contengono costi ambientali e consumo di risorse naturali, né una corretta valutazione dei costi in fase di gestione, per non parlare dell'analisi di fine vita (possibilità di recupero e riciclaggio o facile smaltimento).

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 (in particolare i prezziari di molte regioni) di buona parte delle opere concernenti strutture in legno, componenti in bioarchitettura ed impianti ad alta efficienza e relative

integrazioni, 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 divisori 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;
- struttura e tamponamento ligneo hanno un costo inferiore agli stessi componenti in latero – cemento con il vantaggio ulteriore nella semplicità, dei primi per l'assemblaggio di cappotto e intercapedini porta impianti;
- 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%, constatando che il costo del materiale in se (es. fibra di legno rispetto al polistirene, o calce idraulica rispetto al cemento) può essere maggiore anche fino al 40%, ma il materiale incide per meno di un terzo sul costo complessivo dell'opera oltre al fatto che spesso il maggior costo di alcuni materiali porta con se un minor costo della posa;
- 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 (meglio se a superficie continua) 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. Per ovviare a ciò necessità organizzare prima dell'avvio del cantiere l'acquisizione dei materiali stessi in modo da poter chiudere senza soluzione di continuità il cantiere, per lo meno l'involucro. E ciò nelle tipologie costruttive in esame è possibile.



Figura 5.6: 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).

5.3.2 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.

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.

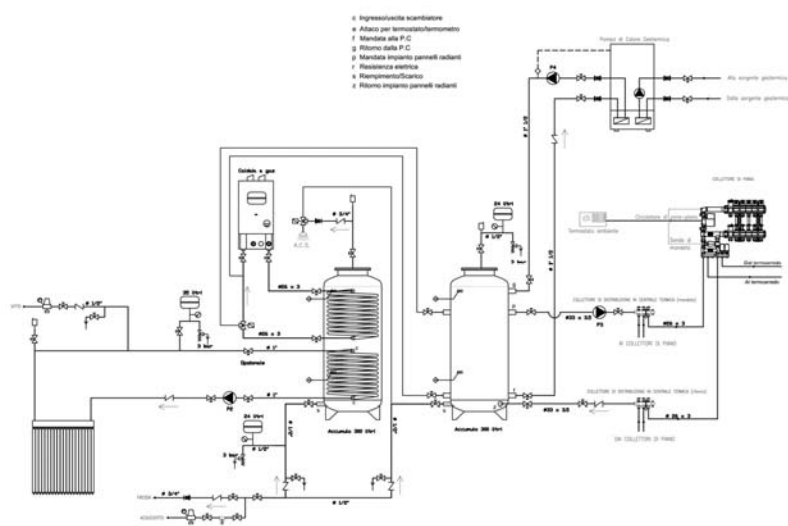
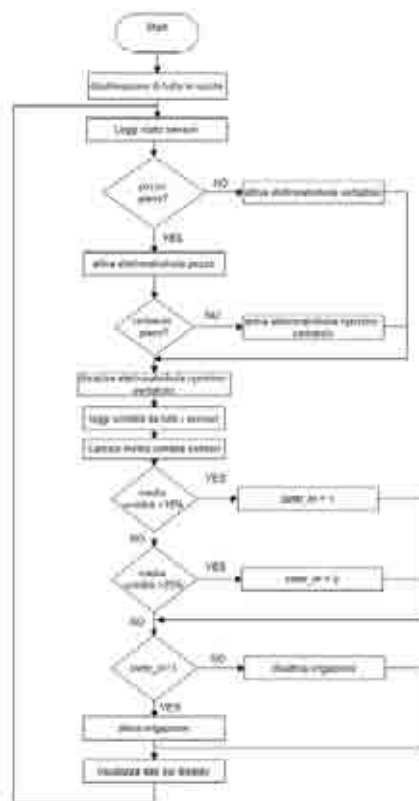


Figura 5.7: Schema funzionale impianto termo idraulico Fonti di generazione solare e geotermico con backup a gas gpl

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.



In un edificio sostenibile l'integrazione funzionale è molto più importante di quella fisica. Come detto sin dall'inizio l'edificio contemporaneo, in un modo o nell'altro è un composto o aggregato di elementi con differenti funzioni a produrre un determinato livello di comfort abitativo. Le esigenze ambientali ed economiche attuali richiedono che si realizzi quello stesso composto con la massima efficienza ed efficacia. Quindi utilizzando al massimo le possibilità dei singoli componenti e loro interazioni.

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 se che un edificio contenente un adeguato livello di conforto 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 tutti 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 se e nell'interazione deve essere effettuato da un appropriato sistema di **controllo** con livelli di automazione variabili (es. una produzione energetica integrata a più fonti di generazioni deve essere necessariamente gestito da centraline di controllo o PLC - *programmable logic controller*). La massima automazione (con prevalenza di controlli elettronici) corrisponde alla minima partecipazione dell'utenza e spesso ad una minima consapevolezza dei meccanismi che producono qualità al proprio abitare; la minor automazione (controllo prevalente meccanico) corrisponde alla massima partecipazione dell'utenza alla messa in esercizio dei vari sistemi tecnologici.

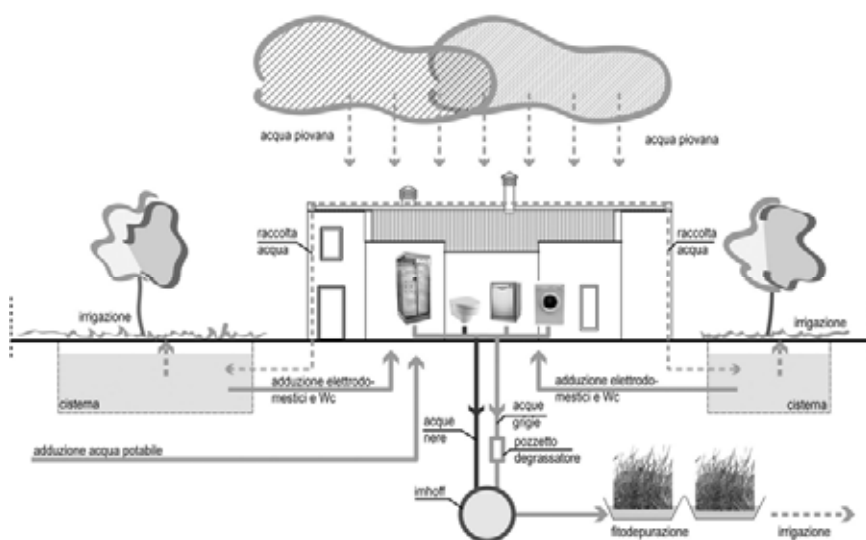


Figura 5.8: Ciclo dell'acqua

Quanto suddetto in termini di logica funzionale trova la sua concretizzazione fisica non solo in appositi spazi dedicati (vani tecnici, cavedi) ma e 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.



Figura 5.9: Dettaglio attacco parete a pavimento

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. Per questo si cerca di ridurre il numero dei livelli di stratificazione di posa ponendo particolare attenzione alle inevitabili sovrapposizioni (es. equilibrando la distribuzione utilizzando anche le pareti).

Nelle case di legno (come in buona parte delle tipologie a secco) a meno di differenze generate da particolari condizioni bioclimatiche, possono essere individuate delle costanti nella distribuzione delle componenti tecnologiche che compongono gli involucri interni ed esterni, soprattutto delle componenti termotecniche (masse inerziali ed isolanti, sistemi radianti, ventilazione naturale e forzata, ecc.).

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.

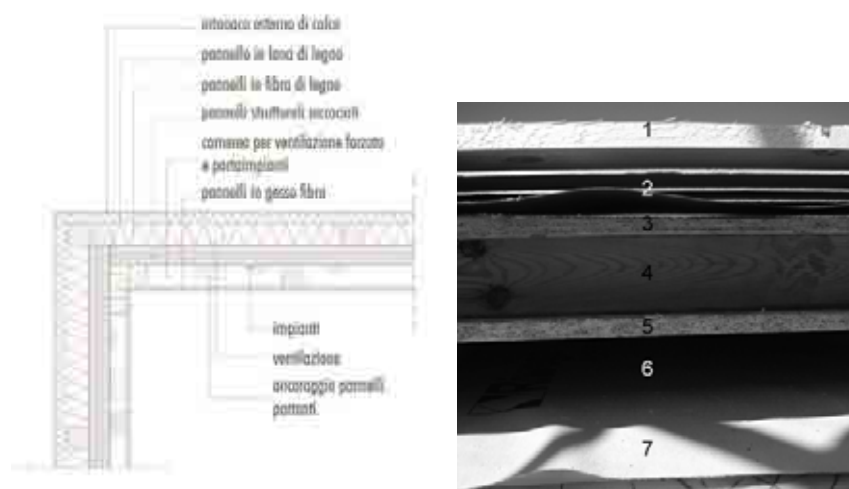


Figura 5.10: Dettaglio di parete di tamponamento. Componenti di copertura in legno: 1) supporto ligneo per la posa del manto di copertura in zinco titanio; 2) ventilazione a circolazione naturale; 3), 5) pannelli di legno a scaglie orientate portanti (OSB); 4) isolamento termico in fibra di legno; 6) camera di ventilazione forzata; 7) telo impermeabile traspirante.

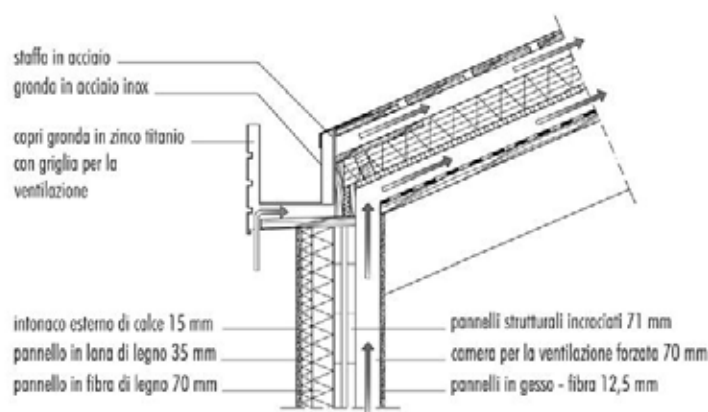


Figura 5.11: Dettaglio di parete di tamponamento e copertura in legno; la struttura è munita di cappotto esterno e camera di ventilazione forzata interna (ed intradossale nella copertura) distinta dalla ventilazione a circolazione naturale della copertura.

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 lignei a vista, viene escluso, ovviamente, il rivestimento interno o inferiore.

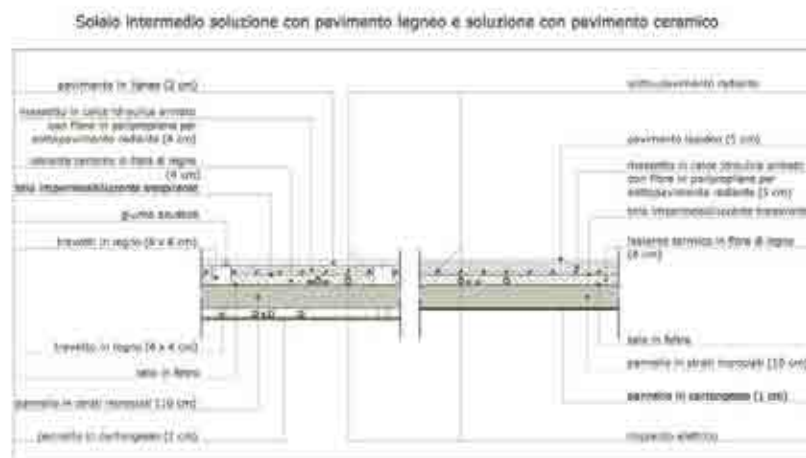


Figura 5.12: Dettagli di solai in legno a pannelli portanti a strati incrociati con impianti integrati con o senza intercapedine intradossale.

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. Per integrazione qui ricordiamo, non si intende accoppiare, mettere l'uno dentro l'altro lasciando alla luce ciò che si è inteso debba rappresentare formalmente il manufatto. Integrare corpi e funzioni, cercando di definire elementi non banali che possano adempiere a funzioni multiple. Per intendersi, il concetto di integrazione architettonica tanto celebrata sia dalle avanguardie storiche che dai movimenti ecologisti degli anni sessanta e settanta, è stato riproposto con forza di recente nel differenziare le tipologie di installazione degli impianti solari (fotovoltaici e termici), generalmente distinte in integrate e retrofit (letteralmente, riequipaggiare, non componibile). Semplicemente, nella nostra interpretazione, un impianto risulterebbe integrato quando svolge oltre alla funzione propria anche, ad esempio, quella di copertura ossia si sostituisce ad un altro componente: il manto di copertura (coppi, tegole, ecc.). Successivamente 'integrato' è stato inteso l'essere complanare alla copertura e non sovrapposto.

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.



Figura 5.13: Dettagli di solai in legno a pannelli portanti a strati incrociati con impianti integrati con o senza intercapedine intradossale.

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.

5.3.3 DEFINIZIONE E CONTROLLO DELLE FASI DI MONTAGGIO

Se consideriamo la progettazione come definizione di elementi decomposti di sistema, la programmazione e relative verifiche come definizione di tempi e modalità aggregative, il cantiere lo si assume come luogo di ri-composizione del sistema.

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.

In merito ai materiali c'è da tenere ben presente che ancora oggi in Italia, o meglio in buona parte del territorio nazionale, non è consuetudine utilizzare tipologie costruttive in legno, limitate alla produzione di coperture ed a volte di solai. Quindi per evitare interruzioni spiacevoli delle attività in cantiere, è necessario ordinare con debito anticipo tutto ciò che necessita per il completamento della struttura e delle componenti architettoniche soprattutto se si scegliesse di completare la struttura in legno con materiali e tecniche specifiche della bioarchitettura.

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.

Per la successione corretta di opere e operatori possiamo utilizzare una metafora biologica e raffigurare il processo di montaggio di una casa di legno (in particolar modo quello relativo alla tipologia con pannelli a strati incrociati) alla formazione ed applicazione di tessuti su una struttura (scheletro) perfettamente determinata ed estremamente ricettiva (come supporto su cui collegarsi e/o da modificare). È quest'ultima caratteristica a semplificare notevolmente la gestione integrata dei vari sistemi: avere un riferimento continuo ed invariante in tutte le fasi del ciclo produttivo.

5.3.4 GESTIONE E REGOLAZIONE 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.

Innanzitutto l'intero edificio deve garantire le necessarie alterazioni delle condizioni ambientali interne principalmente in virtù delle caratteristiche morfologiche, dimensionali, termofisiche, ecc. di tutti le componenti architettoniche che definiscono la chiusura dell'edificio stesso. E ciò può essere considerata prerogativa degli edifici in legno, in termini di efficienza, a parità di dimensioni fisiche, qualità e impatto ambientale.

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).

5.4 NODI E CRITICITÀ NEGLI EDIFICI IN LEGNO

Per quanto banale o scontato possa sembrare è bene ricordare che ciò che caratterizza il legno nella sua essenza è:

- che si muove;
- è durabile solo se correttamente usato.

In un edificio in legno i giunti si comportano in modo uniforme se costituiti da stesso materiale ed ancorato a medesimo supporto, laddove ciò non è possibile non ha alcun senso trattare i giunti come un continuo (soprattutto nelle finiture), più sensato è considerarli separati. Queste considerazioni non riguardano, ovviamente, le strutture e il comportamento meccanico del legno, ma i micro movimenti dello stesso, quelle piccole variazioni di stato che tanto incidono sugli aspetti architettonici, e come vedremo di seguito non solo dal punto di vista formale.

Possiamo affermare come principio che le criticità delle strutture in legno hanno a che fare con le componenti architettoniche che definiscono il livello di comfort abitativo e che operano affinché ogni elemento della struttura si trovi nelle condizioni ottimali in termini di durabilità. In prevalenza hanno a che fare con il contatto col suolo, con la chiusura e con l'apertura dell'involucro dell'edificio.

5.4.1 ATTACCO A TERRA

A terra si trasmettono i carichi dell'edificio. Dalla terra ci si deve distaccare, per la salubrità ambientale e dei materiali; ciò per quanto considerato in tutte le tipologie costruttive, negli edifici in legno è principio fondamentale.

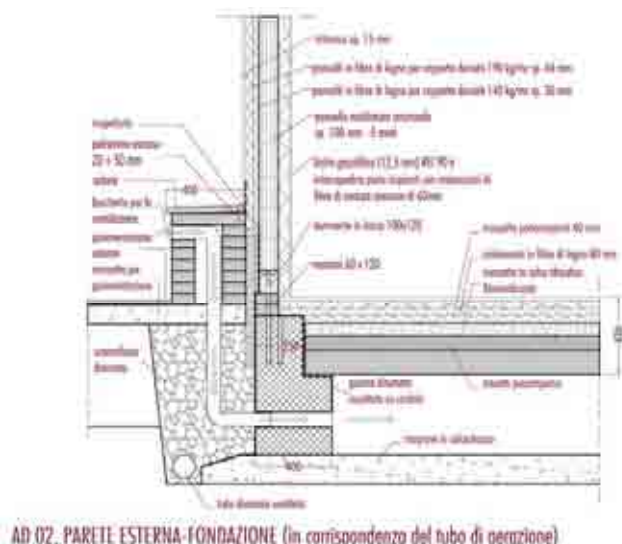
Fisicamente, una fondazione che risponda bene ai due requisiti suddetti raggiunge il risultato migliore quando occupa il minor spazio possibile di suolo scegliendo la tipologia strutturale di fondazione che ottimizza la trasmissione dei carichi a terra nella minore superficie piana possibile. Viene da pensare subito ai pali di fondazione, e pur non essendoci criteri generali indipendenti dalla realtà geologica in cui si interviene, per le case in legno e per aspetti relativi alla bioarchitettura sono da prediligere alcune soluzioni piuttosto che altre. La platea, consigliata in siti con terreni a bassa portanza e/o cedevoli, consigliamo di evitarla. La distribuzione dei gravi è perfetta ma anche il contatto col suolo è perfetto rappresentando una spiacevole continuità per alcuni aspetti fisici e per altri aspetti una netta separazione fra la terra e il cielo. Tenendo conto anche dell'elevato

consumo di calcestruzzo armato, in termini di sostenibilità, salubrità abitativa e durabilità dei materiali edili, questa sorta di barriera 'permeabile' crea più problemi di quanti ne risolva. Laddove sia inevitabile, consigliamo di realizzare un solaio ventilato sulla platea di fondazione interrotto solo dagli appoggi dei piani strutturali. Di questi ultimi, la parte legnosa è consigliato venga posata ad una quota superiore a quella di calpestio.

I pali di fondazione per quanto su detto rappresenta la soluzione ideale in quanto riduce al minimo il contatto sul piano di posa distribuendo i carichi in profondità. Il solaio a terra è così separato nettamente dal suolo. Ma come tutti sanno per ragioni tecnico logistiche e/o geotecniche non sempre è possibile realizzare pali.

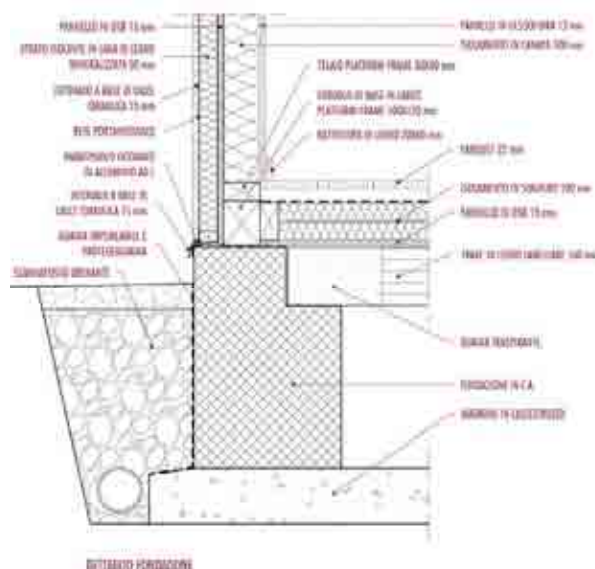
La soluzione, facilmente applicabile a tante situazioni, con un buon rapporto fra trasmissione carichi e suolo occupato, è data dalle travi rovesce. Se escludessimo i contatti fra travi e elementi portanti verticali, i solai a terra risultano separati dal suolo e con opportune forature, totalmente ventilato.

In questo caso, come per la platea, una volta garantita la ventilazione del piano, si dovranno realizzare opportune opere per garantire sul contatto una discontinuità igrometrica (dal basso verso l'alto) e idraulica sulle chiusure verticali esterne (dall'alto verso il basso).



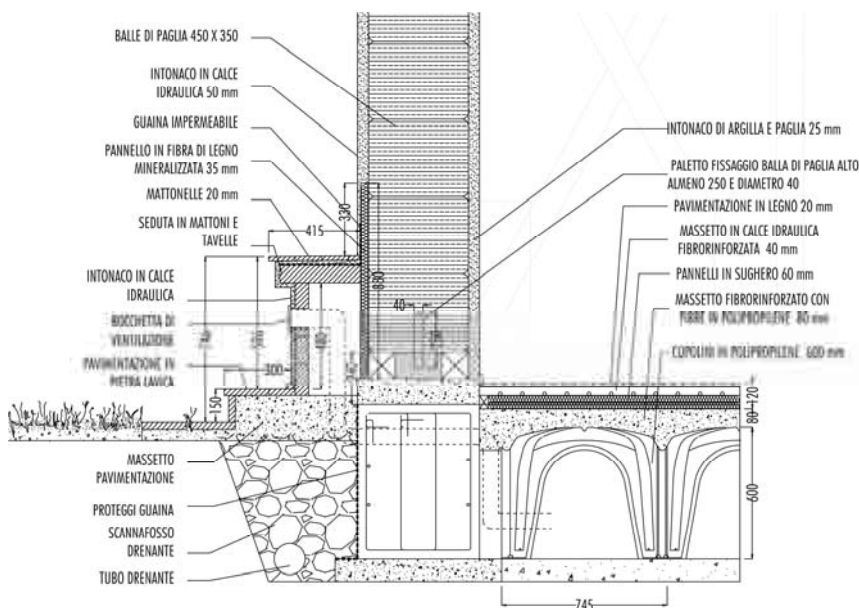
I criteri minimi da rispettare sono:

- predisporre un'opportuna differenza di quota fra piano interno e calpestio esterno (differenza anche minima per garantire una barriera dell'acqua a terra);
- distacco mediante barriera vapore del corpo in C.A. con gli elementi di appoggio superiore;
- rialzo in mattoni pieni o conglomerato idraulico, realizzato da molti operatori del settore per spostare la base di appoggio dei legni ad una quota superiore al piano di posa degli impianti, come sicurezza da eventuali rotture impreviste e non immediatamente individuabili;
- attacco a terra con cordolo in legno ad alta resistente all'umidità, generalmente in Larice;
- adeguato collegamento del cordolo ligneo alla fondazione. Nella scelta di creare una continuità dell'isolamento termico dalla parete alla fondazione, appurare che l'ancoraggio del cordolo sia ad una distanza adeguata dallo spigolo della fondazione, e specificamente, dal copriferro e dal ferro d'angolo;



- verifica della continuità dei piani orizzontali e verticali interni; nella posa degli impianti tecnologici si deve esser certi di non dover sezionare elementi strutturali (finale di fondazione in C.A. e cordolo ligneo);

- nella maggior parte dei casi, la faccia esterna, è consigliabile averla distaccata dal piano orizzontale (di calpestio o meno), o ritenerla tale, realizzando un giunto elastico impermeabile;
- garantire, all'interno o all'esterno del pacchetto di chiusura verticale il passaggio della ventilazione delle fondazioni (sufficiente su due opposte facciate con preferenza nord-sud);
- nella realizzazione dello scannafosso o altro sistema di drenaggio del terreno in aderenza alla fondazione, laddove possibile ventilare anche il tubo drenante.



5.4.1 COPERTURA

La copertura in tutte le tradizioni costruttive, di fatto, "fa" casa, è l'elemento a cui istintivamente viene attribuito il valore di protezione, è il cappello, l'ombrello, è ciò che ci protegge dal cielo aperto, dalle intemperie. Il manto di copertura ha assunto varie forme differenziate per aree culturali, ma l'elemento che le accomuna tutte è la protezione all'acqua...

Tradizionalmente negli edifici in legno la copertura si è sempre estesa oltre i muri di tamponamento, sia in gronda che sul timpano, per meglio proteggere le teste dei muri e in definitiva della casa. In definitiva la raccolta e lo smaltimento dell'acqua piovana avveniva fuori dalla proiezione perimetrale dell'edificio. Oggi o per riprendere

elementi stilistici tradizionali di alcune aree geografiche magari anche da tipologie strutturali non in legno, o per scelta formale, la gronda viene incassata, è resa invisibile e posizionata in corrispondenza delle teste delle pareti, ossia sulla 'testa' del legno.....

In questi casi, come nel caso di copertura piana di edifici in legno, l'attenzione e la cura dell'impermeabilizzazione deve essere massima.

--- giunti mobil e impermeabili...

..... bucatura dei tetti

- apertura dell'involucro

5.5 FINITURE INTERNE: MATERIALI E SOLUZIONI APPLICABILI

Le superfici che delimitano, confinano, racchiudono gli spazi interni sono il luogo della mediazione, dell'interazione tra l'edificio ed i volumi d'aria in esso contenuti, tra l'edificio ed i suoi occupanti.

Sulle superfici si svolgono scambi di tipo termico, igrometrico e chimico che influiscono sulla qualità dell'aria e del comfort interno. Sulle superfici si riflettono e vengono assorbite onde luminose ed acustiche provenienti dall'interno e dall'esterno; dalle superfici provengono segnali per la vista, l'udito, il tatto, l'olfatto che influenzano, per lo più inconsapevolmente, il benessere psico-fisico dell'occupante.

La scelta dei materiali e delle soluzioni per la finitura delle superfici interne dovrebbe tener conto di tutte queste interazioni ed avrà un ruolo determinante sulla qualità dell'abitare, sulla fruibilità dell'edificio dei suoi spazi.

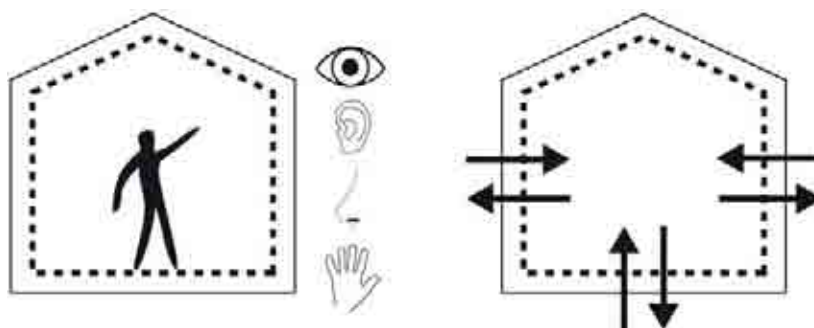


Figura 5.14: Interazioni tra l'abitante ed il rivestimento interno e tra questo e l'esterno .

Per orientarsi nella sterminata offerta del mercato si propone un insieme di requisiti che le finiture scelte dovrebbero possedere per garantire un'efficiente integrazione col sistema costruttivo in legno insieme ad un'alta qualità bio-ecologica.

Affinità col sistema costruttivo. Materiali con un certo grado di flessibilità intrinseca, che siano in grado di “muoversi” se non di “modellarsi”, così da assecondare gli assestamenti ed i movimenti caratteristici di una struttura lignea.

Affinità con la natura e le caratteristiche chimiche del legno. Materiali traspiranti che consentano una continuità nelle prestazioni igrometriche e traspiratorie tra tutte le componenti dell'edificio, tra interno ed esterno.

Salubrità. Materiali che garantiscano l'assenza di emissioni nocive o potenzialmente nocive durante il proprio ciclo di vita, materiali senza additivi sospetti. Gli ambienti interni, confinati, sono infatti sempre più a "tenuta stagna", con modesti ricambi d'aria con l'esterno e trattengono le eventuali emissioni di sostanze dannose, quali i composti volatili, all'origine di allergie, intolleranze e malattie respiratorie.

Bassa energia incorporata. Materiali per le cui fasi di produzione, trasformazione ed approvvigionamento, necessitino di bassi consumi energetici e di ridotte emissioni di CO₂.

Reperibilità locale. Materiali che sia possibile reperire, produrre o trasformare in loco. Supportando l'economia locale si aumenta il livello di condivisione dell'intervento, si stimola la creazione di filiere, si minimizzano i costi energetici ed ambientali legati al trasporto. L'impiego di materiali locali consente inoltre la produzione di interventi site specific, integrati col territorio e le sue risorse, con il contesto ecosistemico.

Riciclabilità e biodegradabilità. Materiali che al termine del ciclo di vita non divengano rifiuto da smaltire ma, secondo la filosofia "Dalla culla alla culla", nutriente da reimmettere in un ciclo tecnico (riciclabilità) o naturale (biodegradabilità).

Semplicità di posa. Materiali e tecniche che non necessitano di utensili o sistemi di posa complessi, che si prestano a pratiche di autocostruzione e conseguentemente di automanutenzione, ordinaria e straordinaria. L'impiego di tecniche semplici ed accessibili, facili da imparare e comunicare, permette l'attivazione di processi di partecipazione, condivisione e coinvolgimento delle comunità locali.

L'applicazione dei criteri guida proposti porta inevitabilmente a prediligere soluzioni e materiali di origine naturale le cui proprietà intrinseche li rendono adatti all'uso a cui sono destinati.

Essi non necessitano infatti di additivi e trattamenti chimici e conseguentemente non rilasciano emissioni nocive. Alcuni materiali quali l'argilla, la calce e, in misura minore, anche il legno, hanno addirittura proprietà antibatteriche ed igienizzanti. Non subendo processi di trasformazione complessi ed essendo spesso disponibili localmente, hanno una bassa energia incorporata. L'impiego di finiture di origine naturale consente inoltre di recuperare, riscoprire, riattualizzare tecniche e saperi materiali tradizionali la cui efficacia è stata testata in secoli di pratica ed esperienza.

Finiture a base di calce ed argilla.

Calce ed argilla sono materiali di origine minerale che impastati con acqua, inerti, fibre, olii, agiscono come leganti e consentono di

realizzare rivestimenti per superfici orizzontali e verticali di spessore variabile dai pochi millimetri delle velature, ai 2-3 cm degli intonaci ai 15-20 cm di alcuni battuti per pavimentazione.

Sono materiali utilizzati per migliaia di anni per le finiture di edifici sia nobili che popolari che subiscono trasformazioni minime e, soprattutto nel caso dell'argilla, sono spesso disponibili in situ.

L'avvento dei leganti di tipo cementizio e dei polimeri di sintesi, che non richiedono manodopera specializzata e sono facilmente industrializzabili, ha portato alla scomparsa di questi materiali dalla pratica edilizia contempoanea. Negli ultimi anni si è assistito ad un recupero su ampia scala delle finiture a base di argilla e calce grazie a ricerche e studi che hanno consentito di verificarne e documentarne le prestazioni, la composizione, le tecniche di posa. Il risultato è stato la possibilità di comunicare e condividere un sapere altrimenti confinato negli ambiti molto ristretti del restauro e degli appassionati.

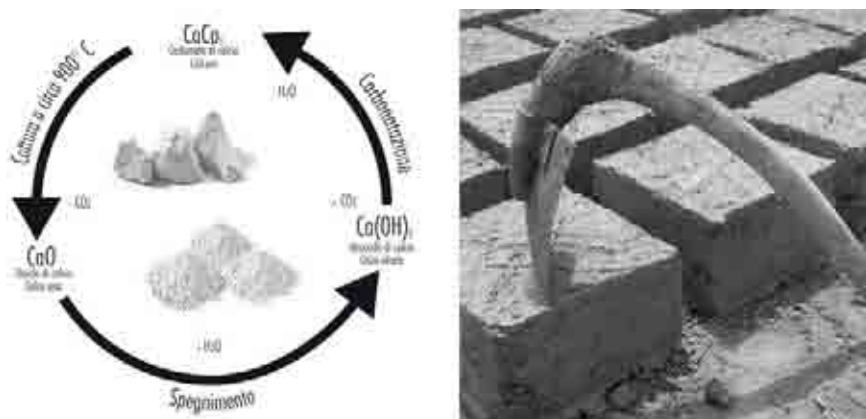


Figura 5.15: Il ciclo della calce; mattoni in argilla.

L'argilla è completamente biodegradabile e reversibile; può essere infatti recuperata, frantumata e riutilizzata senza perdere le sue qualità e proprietà fisico-chimiche. La sua caratteristica più apprezzata è la capacità di assorbire l'umidità dell'ambiente e dei materiali con cui è a contatto e di trattenerla all'interno della propria struttura porosa, per poi rilasciarla nell'aria quando questa ha un contenuto di umidità inferiore. Questa caratteristica prende il nome di igroscopicità e rende l'argilla una finitura ideale per materiali quali legno e paglia che spesso, dopo la posa, conservano una certa quantità di umidità che è bene smaltire.

La calce, a differenza dell'argilla, dovendo essere cotta, subisce un processo di trasformazione energivoro le cui emissioni saranno però compensate dalla sua capacità di assorbire CO2 nel ciclo di vita,

attraverso il fenomeno della carbonatazione. La calce è più dura e resistente all'usura dell'argilla, ha proprietà igienizzanti, antibatteriche ed antimuffa grazie alla forte basicità e possiede buone doti di igroscopicità.

Intonaci.

L'intonaco è un rivestimento compatto costituito da più strati con caratteristiche e funzioni diverse, con uno spessore variabile tra 1,5 e 2 cm a seconda del supporto su cui viene applicato. Il primo strato, a contatto col supporto, si chiama rinzaffo ed ha una granulometria grossolana che gli conferisce una conformazione ruvida, ottimo aggrappo per gli strati successivi. Al rinzaffo segue l'arriccio, vero corpo dell'intonaco, con la funzione di uniformare la superficie intonacata. L'ultimo strato è l'intonachino o velatura ed ha la funzione di proteggere gli strati sottostanti e di rendere l'intonaco esteticamente gradevole.

L'intonaco, per aderire alle superfici verticali ed orizzontali, necessita di un supporto con un forte aggrappo meccanico. Nel caso di superfici senza aggrappo meccanico queste dovranno essere rivestite con stuoie, listellature in legno o pannelli rigidi in lana di legno, fibre vegetali o sughero. La tradizione ci consegna l'uso, per la realizzazione di tramezzature, ma anche di controsoffitti e volte, degli incannucciati, stuoie di canne palustri legate con fil di ferro.

Nel caso l'intonaco dovesse essere applicato su elementi in legno, quali architravi o porzioni del telaio, questi dovranno essere opportunamente lavorati, realizzando incisioni trasversali o chiodature, per dotarli dell'aggrappo meccanico richiesto.

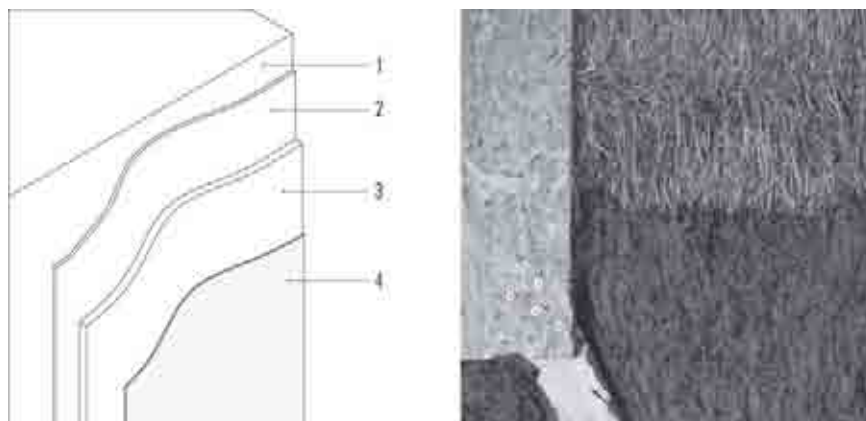


Figura 5.16: Stratificazioni di un intonaco a calce; intonaco in argilla su balle di paglia.

Tadelakt. Il tadelakt è una tecnica d'intonacatura marocchina impermeabile nata inizialmente per rivestire le cisterne per la raccolta dell'acqua ed estesa poi agli ambienti umidi in genere quali hammam, bagni e fontane. Questa tradizione ha rischiato di scomparire prima di essere recuperata per la realizzazione di bagni, docce, lavandini e pavimenti in abitazioni private europee e nord americane. La base è una calce naturale debolmente idraulica, estratta da colline vicino Marrakech, secondo metodi di selezione della materia prima e di cottura trasmessi attraverso le generazioni. E' una calce rozza che contiene molte impurità, che consente di non utilizzare altri aggregati e che produce un caratteristico reticolo di microfessure.

E' applicata a mano con utensili in legno e pietra per uno spessore di 1-2 cm e necessita di manodopera specializzata. Viene colorata in pasta con terre e pigmenti naturali, lucidata con pietre specifiche e finita con uno strato di sapone nero tradizionalmente a base di olio di oliva, che, oltre a renderla impermeabile, le conferisce un aspetto di grande effetto estetico.

Velature. La velatura o intonachino, è l'ultimo strato nella composizione di un intonaco. Ha granulometria fine ed uno spessore complessivo inferiore ai 3 mm. E' lo strato più esterno, a contatto diretto con l'ambiente e con gli abitanti. Protegge la parete dall'usura quotidiana, preserva gli strati sottostanti e contemporaneamente dona carattere all'ambiente che delimita attraverso colore e trama superficiale, interazione con la luce e tattilità.

Se nell'impasto della velatura di calce, al posto della sabbia, si usa la polvere di marmo, la velatura prende il nome di intonaco a stucco; le caratteristiche di traspirabilità rimangono simili ma, con un opportuno trattamento a base di oli e cera d'api, diventa idrorepellente ed adatto a rivestire pareti di bagni e cucine. La velatura di argilla può invece contenere aggregati minerali e vegetali quali sabbia, paglia, fiori, foglie con effetti estetici molto particolari.

Le velature possono essere applicate anche su di una superficie finita diversa dall'intonaco, quale un pannello di tamponamento in legno o in gessofibra. In questo caso la funzione della velatura è prettamente estetica e la traspirabilità è legata alla natura del supporto sottostante.

Pitture. La pittura consiste nell'applicazione di un sottile strato coprente per abbellire le superfici, per donare profondità e colore, per conferire atmosfera e tono allo spazio interno, per impedire lo spolvero superficiale.

Non sempre la pittura è necessaria, ci sono infatti alcune finiture quali le velature in argilla che possono essere lasciate al naturale, soprattutto se la velatura è colorata in pasta.

Pitture decorative a base di calce si usano dall'età della pietra e venivano realizzate con gli ingredienti disponibili in loco, dal latte, alle uova, dal sangue alle terre colorate.

Battuti.

Sin dall'antichità la necessità di ottenere pavimentazioni stabili e resistenti all'usura ha portato alla sperimentazione del battuto ovvero di un impasto modellabile, livellabile, compattato con pietre o utensili in legno. Il battere ha lo scopo di eliminare acqua ed aria dall'impasto migliorandone le doti di impermeabilità. I primi battuti erano in terra e sono ancora largamente utilizzati nelle aree rurali di Africa, Sud America ed Asia. La superficie del battuto viene spesso finita con impasti a base di oli, polpe vegetali o escrementi animali che, battuti anch'essi, conferiscono impermeabilità e resistenza all'usura alla pavimentazione.

In occidente, i battuti storicamente più diffusi e tecnicamente più evoluti sono quelli a base di calce, sabbia e pietrame che a seconda della stratificazione, della composizione e della finitura finale prendono denominazioni diverse, tra cui battuto bianco e rosso, cocchiopesto e terrazzo veneziano.

Il cocchiopesto è una miscola di calce e laterizi frantumati di varia granulometria nata in epoca romana per rivestire le cisterne e diffusamente utilizzato fino alla metà del novecento. E' un composto impermeabile ma con un'alta capacità traspirante grazie alle proprietà igroscopiche di laterizio e calce che conferiscono all'impasto un caratteristico colore bianco e rosso o rosato.

La diffusione del battuto a Venezia nasce invece dalla necessità di avere pavimentazioni elastiche con un basso ritiro igrometrico. Le abitazioni ed i palazzi veneziani, costruiti su pali in legno affondati su terreni sabbiosi, erano affetti da cedimenti in fondazione con una conseguente flessione delle travi e dei solai sotto le pavimentazioni. La flessibilità del battuto e la stabilità della calce consentivano di realizzare estese pavimentazioni flessibili e senza fessurazioni. I battuti veneziani, soprattutto nelle residenze nobiliari, vedono l'inserimento di tessere in marmo, pietre colorate, vetro o di terre ed ossidi nell'impasto ottenendo pavimentazioni dalle straordinarie qualità estetiche.

Oggi è ancora possibile realizzare battuti in calce o terra per interni rivolgendosi a ditte specializzate. Gli spessori sono più contenuti rispetto ai battuti tradizionali, che arrivavano anche a 45-50 cm, con una riduzione della capacità di assorbire le sollecitazioni statiche e la conseguente facile comparsa di microfessurazioni. Le doti di elasticità, l'inerzia termica, l'igroscopicità e l'impatto estetico unico, grazie anche alla possibilità di colorare l'impasto e di inserirvi inserti minerali e vegetali, ne fanno comunque una pavimentazione ideale per un edificio in legno.

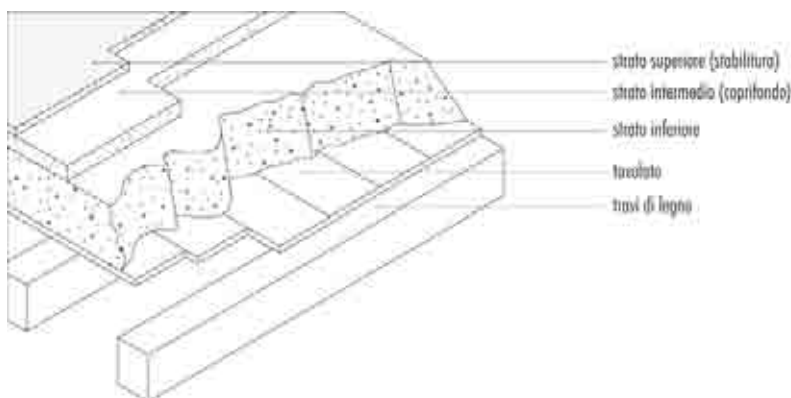


Figura 5.17: Stratificazioni di una pavimentazione tradizionale in cocchiopesto.

Finiture di origine vegetale.

Le finiture di origine vegetale sono prodotti costituiti per lo più da tessuti organici provenienti da processi di fotosintesi clorofilliana.

Questi tessuti possono essere di matrice legnosa se provengono da essenze arboree o di matrice erbacea se provengono da specie erbacee. Sono prodotti altamente biodegradabili in quanto in grado di rientrare velocemente nei processi di degradazione naturale, la cui durabilità è legata all'eliminazione di quelle condizioni che possano innescare questi processi all'interno dell'edificio. È importante quindi garantire traspirabilità e ventilazione, ma soprattutto che queste finiture non si trovino in condizioni di umidità permanente aprendo la strada all'aggressione da parte di muffe, funghi o insetti.

Rivestimenti in legno.

Il legno per interni si presenta solitamente nella forma di tavole, pannelli o listellature. Per garantirne l'atossicità è bene preferire il legno massello non trattato. Il legno per interni non necessita di alcun trattamento chimico superficiale che, tra l'altro, potrebbe inibirne le proprietà igroscopiche ed antistatiche. Il legname trattato chimicamente alla fine del suo ciclo di vita diventa un rifiuto speciale con i conseguenti problemi e costi di smaltimento.

L'impiego più comune del legno in interni è nella realizzazione di pavimentazioni, in particolare nella realizzazione di parquet, ovvero liste o listoni di legno massello con giunzioni maschio femmina. I metodi di posa più comuni sono l'incollaggio, la posa flottante e la posa chiodata. Quest'ultimo è il metodo più complicato ma anche l'unico che consente di realizzare una pavimentazione senza l'uso di colle e consiste nel chiodare od avvitare le tavole ad un sottofondo che

può essere costituito da dormienti in legno, detti magatelli, da un tavolato in legno o da pannelli in compensato, OSB o gessofibra.

Al di sotto delle tavole è bene collocare un materassino fonoassorbente, in feltro o sughero, per ridurre i rumori prodotti dal calpestio ma anche per tamponare eventuali risalite di umidità dal sottofondo.

Il legno è un tessuto igroscopico che interagisce con l'umidità presente nell'ambiente in cui viene collocato, dilatandosi e contraendosi, fino a raggiungere un equilibrio igrometrico. Prima dell'installazione è necessario misurare i livelli di umidità del sottofondo e dell'ambiente che devono corrispondere ai livelli di umidità indicati dal fornitore del legname. Livelli di umidità eccessivi, in fase di esercizio, potrebbero provocare pericolose dilatazioni con deformazioni e rotture.

Il legname destinato alla posa necessita comunque di acclimatarsi per cui, prima dell'installazione, dovrebbe essere lasciato per alcuni giorni all'interno del locale in cui andrà installato.

Un rivestimento in legno, una volta installato, si muoverà, soprattutto nella direzione ortogonale alle fibre. Perimetralmente devono essere predisposti opportuni spazi per consentirne la dilatazione, spazi che saranno poi mascherati dal battiscopa. Il battiscopa non va mai fissato alla pavimentazione, ma alle pareti, così da lasciare che le tavole possano scorrere liberamente al di sotto di esso.

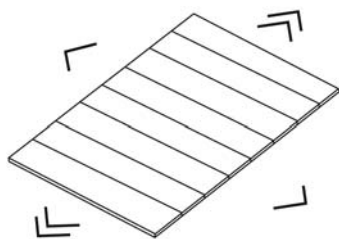


Figura 5.18: Le tavole in legno interagendo con l'umidità ambientale si dilateranno in maniera più accentuata nella direzione ortogonale alle fibre.

Le pavimentazioni in legno sono compatibili con i sistemi di climatizzazione radianti sottopavimento. Questi potranno essere alloggiati all'interno di un massetto di calce idraulica intercalato tra i magatelli o all'interno di un letto di sabbia asciutta al di sotto dei pannelli di compensato o di gessofibra (metodo Tolin) cui è fissato il parquet.

Dopo la posa, il legname potrà essere trattato con impregnanti a base di oli, cere e pigmenti naturali che ne aumenteranno la resistenza all'usura e conferiranno al legno le qualità cromatiche che si desiderano.

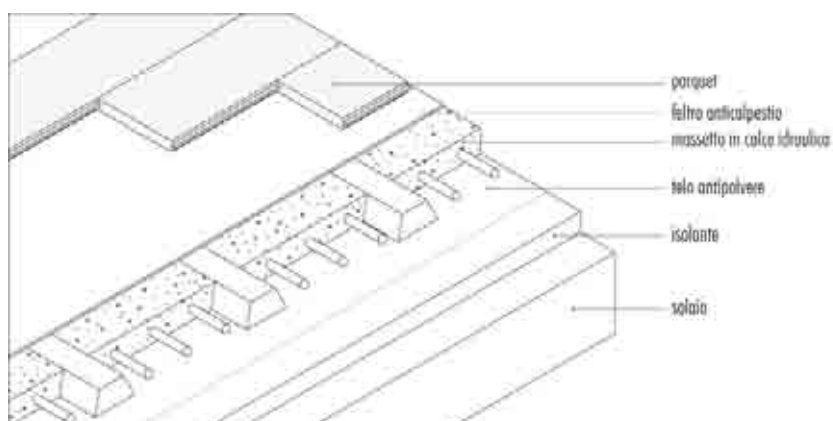


Figura 5.19: Pavimentazione in legno su massetto radiante in calce idraulica.

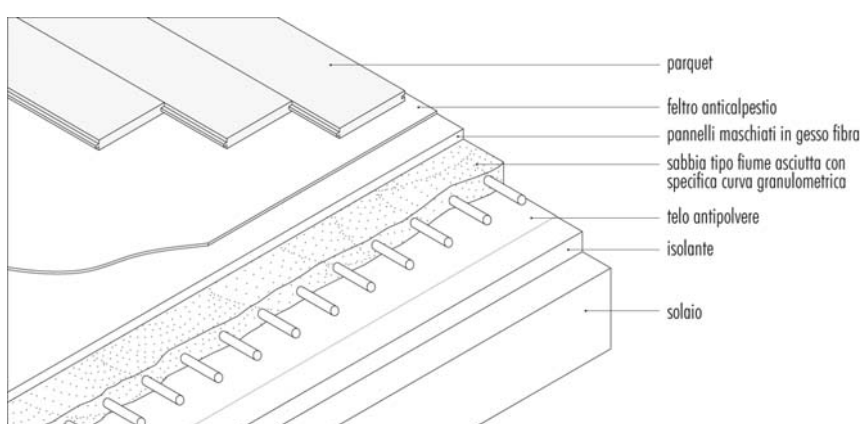


Figura 5.20: Pavimentazione in legno su massetto radiante a secco, in sabbia.

Rivestimenti in bamboo.

Il bamboo è una specie erbacea diffusa in alcune zone dell'estremo oriente e del centro America. Le specie di bamboo sono più di 1500 ma solo alcune di esse sviluppano un tronco legnoso adatto ad essere lavorato e trasformato per l'uso in edilizia. Come altre specie erbacee, può essere coltivato facilmente e rapidamente, consentendo di integrarne la produzione nel territorio in cui si intende utilizzare. Uno slogan spesso utilizzato per la promozione della coltivazione del bamboo è "coltivare case". Alcune specie di bamboo in soli 5 anni producono infatti canne di sezione adeguata ad un impiego strutturale.

Le canne di bamboo, dette culmi, dopo essere state trattate per preservarle dall'attacco di funghi ed insetti, vengono tagliate in liste

verticali, successivamente incollate o legate tra di loro per ottenere tavole, pannelli e stuoie. Le pavimentazioni in tavole di bamboo prevedono sia la posa flottante che incollata e necessitano delle stesse attenzioni alle condizioni di umidità ambientale e di possibilità di dilatazione di una pavimentazione in legno.

I lavorati in bamboo vengono per lo più prodotti all'estero e contengono colle, è quindi importante verificare la disponibilità di tutte le certificazioni di qualità ambientale.

L'importazione della materia prima, i culmi, è invece più complessa, essendo difficile avere garanzie sulla qualità e la natura dei trattamenti cui è stata sottoposta.

Stuoie di fibre vegetali.

Stuoie ottenute dall'intreccio di fibre vegetali molto resistenti alla trazione ed all'usura quali agave, giunco e cocco. Possono essere posate a terra su massetti o tavolati a sostituzione o copertura della pavimentazione. La stuoia viene solitamente fornita su di un supporto in caucciù o in lattice che ne facilita la posa e ne migliora la stabilità durante il calpestio.

Pavimentazioni resilienti in Linoleum.

Per pavimentazione resiliente si intende una pavimentazione che deve avere particolari doti di resistenza all'usura e all'aggressione di sostanze chimiche e batteri.

Il Linoleum nasce nel 1860 da un brevetto inglese. E' costituito da un impasto di olio di lino ossidato, farina di legno, sughero, carbonato di calcio, resine (quali la colofonia) e pigmenti naturali, spalmato su di un tessuto di iuta. Un insieme di materiali naturali che lo rendono completamente biodegradabile, ipoallergenico e resistente a muffe e batteri. E' una pavimentazione adatta ad ambienti in cui è importante la salubrità e l'igiene quali quelli scolastici, ma anche a cucine e bagni. La sua durezza, resistenza all'usura e durabilità lo rende inoltre adatto ad ambienti soggetti ad intenso calpestio.

Si sporca facilmente, ma è molto resistente alle macchie; data la sua resistenza è comunque facile da pulire. In commercio lo si trova in teli di altezza di 2 mt con lunghezze che variano dai 15 ai 30 ml, in una grande gamma di colori.

Se si sceglie il linoleum per la sua naturalità è necessario leggere con molta attenzione le schede tecniche poiché molti produttori aggiungono una finitura superficiale in PVC.

Rivestimenti acustici.

Il comfort acustico di un ambiente si ottiene proteggendo l'abitante dal rumore prodotto all'esterno e all'interno dell'edificio. Se la sorgente sonora è all'esterno, si interviene attraverso tecniche di isolamento acustico, interponendo all'interno dell'involucro materiali e soluzioni che interrompano la propagazione delle onde sonore.

Se la sorgente si trova invece all'interno dell'ambiente, si interviene attraverso tecniche di assorbimento sonoro, di insonorizzazione.

L'insonorizzazione di un ambiente, importante ove vi sia necessità di abbassare il livello di rumorosità interna o di migliorarne la qualità acustica, si ottiene attraverso l'applicazione di rivestimenti acustici a parete e a soffitto.

I rivestimenti acustici agiscono attraverso il fenomeno della fonoassorbenza caratteristico dei materiali porosi e dei materiali a risonanza.

I materiali assorbenti porosi sono materiali leggeri a pori aperti, come il sughero o la lana di legno, semplice e preintonacata. E' la tecnica di rivestimento più semplice e può essere applicata su di una superficie finita, sia essa parete o soffitto, attraverso colla o tasselli; agisce principalmente sui toni alti.

I rivestimenti fonoassorbenti a risonanza sono pannelli, separati dal supporto, costituiti da materiali a pori chiusi, come il gessofibra o il legno, che vibrano e smorzano l'energia sonora trasformandola in energia cinetica. Agiscono sui toni bassi e possono presentarsi anche nella forma di listellature di legno o di incannucciati.

L'assorbimento dei toni medi avviene invece combinando fonoassorbenza e risonanza, con un pannello esterno a risonanza ed un materiale interno poroso. Una soluzione interessante sono i pannelli in abete massello con materassini interni in fibre di canapa e fibre di legno che fungono anche da isolante termico.

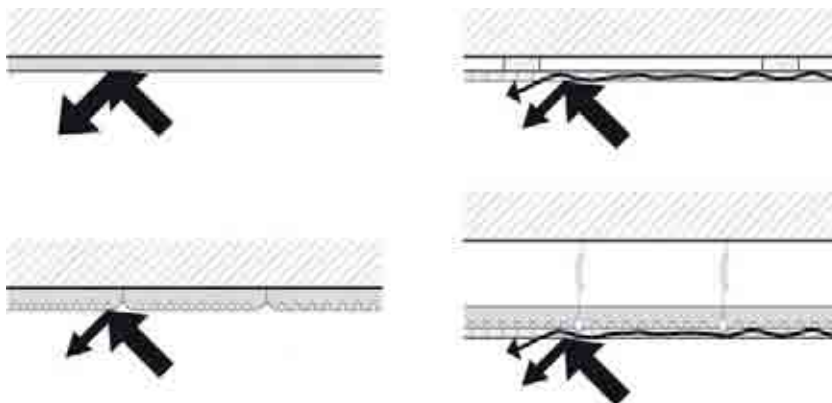


Figura 5.21: Comportamenti all'onda sonora di diversi tipi di rivestimento. Dall'alto in basso, da sinistra a destra: nessun rivestimento acustico; rivestimento fonoassorbente con materiale poroso; rivestimento fonoassorbente con materiale a risonanza; combinazione dei due tipi di rivestimento.

I rivestimenti a pannelli, essendo separati dalle superfici cui sono fissati, posseggono notevoli potenzialità espressive consentendo di modellare lo spazio interno non solo acusticamente ma anche

architettonicamente. Un esempio straordinario sono i soffitti in legno di Alvar Aalto per la Viipuri Library a Vyborg in Finlandia.

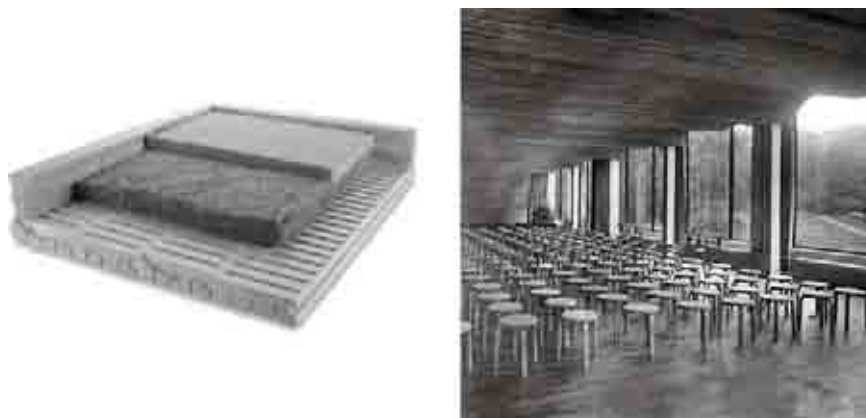


Figura 5.22: Esempio di pacchetto fonoassorbente con materiali porosi (fibra di legno) e materiali a risonanza (pannelli in abete fresato). La libreria di Viipuri di Alvar Aalto.

E' importante ricordare che il legno possiede per sua natura alcune specificità acustiche. La velocità di trasmissione del suono attraverso di esso è molto bassa, caratteristica che ne fa un buon isolante acustico. Questa caratteristica varia con l'essenza, poiché dipende dalla struttura anatomica ed in particolare dall'orientamento delle fibre. La superficie levigata del legno ha inoltre un comportamento particolare nei confronti del suono. Essa riceve infatti il suono restituendolo con caratteristiche qualitative superiori, combinando effetti fisici differenti, tra cui la risonanza.

Trattamenti e manutenzione.

Trattamenti. Le finiture interne, siano esse di origine minerale o vegetale, possono essere trattate con impregnanti a base di oli vegetali, saponi, cera d'api, allo scopo di aumentarne la resistenza all'usura, rallentarne il deterioramento superficiale e l'alterazione cromatica, migliorarne la lavabilità, la resistenza alle macchie, l'impermeabilità e l'idrorepellenza. La naturalità di questi ingredienti preserva le caratteristiche di traspirabilità delle finiture trattate e garantisce l'assenza di sostanze chimiche potenzialmente dannose per l'organismo umano.

I trattamenti vanno solitamente ripetuti con cadenza annuale o pluriennale a seconda del supporto trattato e dell'esposizione all'usura. Un'esposizione prolungata all'irraggiamento solare può innescare

processi di fotodegradazione con un'alterazione della coloritura della finitura o con un decadimento del trattamento applicato.

Manutenzione. Le finiture trattate, siano esse di origine minerale o vegetale, per loro natura interagiscono con il microclima interno, con le variazioni di temperatura, di umidità e di luminosità. Registrano il passare del tempo, delle stagioni, si modellano ed assecondano le specificità dell'ambiente con cui interagiscono. Nella capacità di "invecchiare" senza compromettere le proprie prestazioni, risiede la specificità di queste finiture, il loro potenziale anche estetico. Una corretta manutenzione, che consisterà per lo più nella periodica applicazione dei trattamenti o nella riparazione di piccole lesioni, ne garantirà una durabilità pari a quella dell'edificio.

L'apprendimento dei metodi di lavorazione e posa delle finiture consente all'occupante una facile automanutenzione della propria abitazione, ispirato dal significato etimologico del termine (*manus tenere*).

5.6 RIVESTIMENTI ESTERNI: MATERIALI E SOLUZIONI APPLICABILI

Tema di questo capitolo sono quei materiali e dispositivi che, applicati sulle pareti esterne dell'edificio, hanno la funzione di mediare tra questo e l'ambiente circostante. Sul mercato è disponibile una molteplicità di soluzioni low e high tech, dalla plastica al titanio, dagli schermi LED alle ceramiche più sofisticate. Per garantire una continuità tematica, ma anche etica, con l'argomento trattato, si prenderanno in considerazione solo quelle soluzioni che esaltino le potenzialità funzionali ed espressive del legno e dei prodotti derivati dalle biomasse più in generale.

In base alle diverse caratteristiche tecniche e le funzioni svolte si suddivideranno le soluzioni di facciata in due macro categorie: rivestimenti e schermi.

I rivestimenti comprendono gli elementi, indispensabili, di chiusura del pacchetto parete, l'ultimo strato, la superficie di mediazione nei confronti degli agenti atmosferici, dell'irraggiamento solare ma anche dell'ecosistema circostante.

Gli schermi comprendono, invece, quei dispositivi che filtrano e controllano l'incidenza della radiazione luminosa, creano e regolano un microclima superficiale o semplicemente mediano visivamente tra la facciata ed un osservatore esterno. Il ruolo degli schermi è principalmente il controllo dell'introspezione o la creazione di una trama, di un filtro visivo sulla facciata, evocando la tradizione mediterranea della persiana.

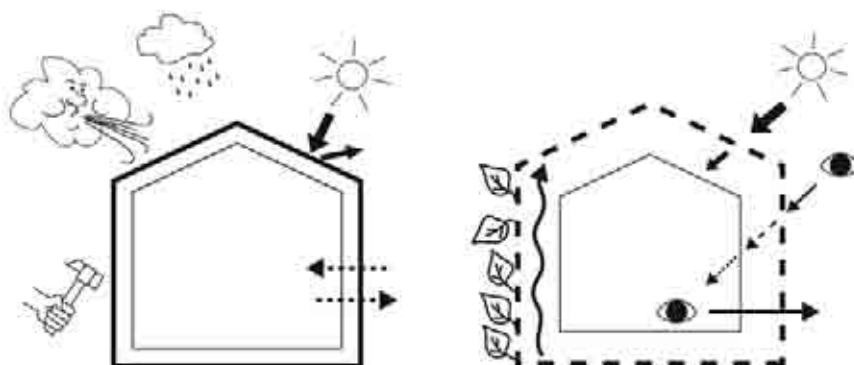


Figura 5.23: Le diverse funzioni svolte da un rivestimento (a sinistra) ed uno schermo (a destra).

Schermi

Uno schermo può essere realizzato con listelli e tavole, alette fisse od orientabili, graticci, ma anche intrecci di rami o di canne di bamboo.

Può essere collocato su di una struttura indipendente, autoportante, oppure essere ancorato direttamente dell'edificio. Gli ancoraggi alle pareti esterne meritano accuratezza nel disegno e nella realizzazione poiché non ne devono compromettere l'integrità e l'impermeabilità all'acqua. Si ricorda infatti che gli ancoraggi ricevono oltre al carico dovuto al peso proprio del dispositivo, il carico dovuto all'azione del vento.

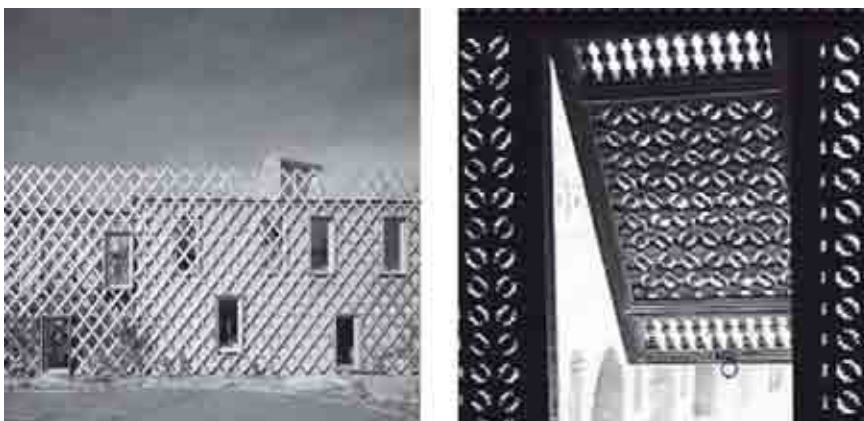


Figura 5.24: Esempi di schermatura in legno, dal contemporaneo alla tradizione.

Schermi verdi. Quando l'azione di schermatura è operata dalle foglie e dal corpo di una pianta si parlerà di schermi o di parete verde.

Una parete verde ha una valenza estetica, una funzione di barriera nei confronti del vento, di filtro per la luce ma offre soprattutto un alto potenziale ecologico.

L'integrazione di un sistema vivo in un edificio consente infatti di disporre dei servizi caratteristici degli ecosistemi, i cosiddetti servizi ecologici. I servizi ecologici vanno dal controllo micro climatico, alla regimentazione delle acque, dall'abbattimento delle polveri all'ombreggiamento, dall'abbattimento del carico solare alla produzione di biomassa e di nutrimento. Ragionare in termini di servizi è fondamentale perché consente di misurare e di quantificare i benefici che ci offre un sistema vivo, evitando derive bucoliche.

Una parete verde è un efficiente supporto alla biodiversità, una funzione importante quando l'edificio dovesse inserirsi in un contesto dall'alta valenza naturalistica o all'interno di una rete ecologica.

Una differenza tra i diversi sistemi verdi disponibili è la collocazione del suolo fertile, del substrato di supporto alla crescita delle piante. Il substrato può trovarsi alla base dell'edificio ed ospitare piante rampicanti, sul tetto dell'edificio ed ospitare piante cascanti; il substrato può essere infine integrato alla parete contenuto, sotto forma di materassini, in speciali pannelli preinverditi.

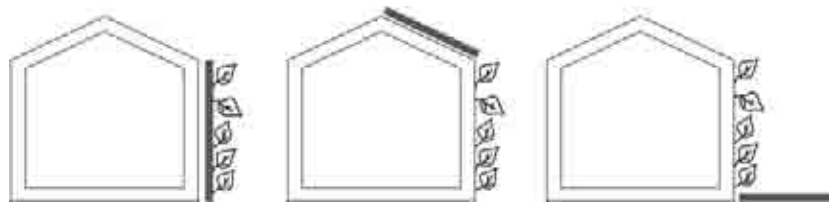


Figura 5.25: Collocazione del suolo rispetto alla parete verde: in facciata, in copertura, a terra.

Il modo più semplice, economico e duraturo per realizzare una parete verde è quello di sfruttare il suolo intorno all'edificio e di creare strutture di supporto ancorate alle pareti o autoportanti che saranno colonizzate dalle piante rampicanti.

Le strutture di supporto possono essere grate, griglie o cavi tesi. Nel caso di cavi tesi si consiglia di non fissare gli ancoraggi direttamente alle pareti in quanto le tensioni indotte dalle ramificazioni delle piante sui cavi potrebbero strappare gli ancoraggi o creare fessurazioni.

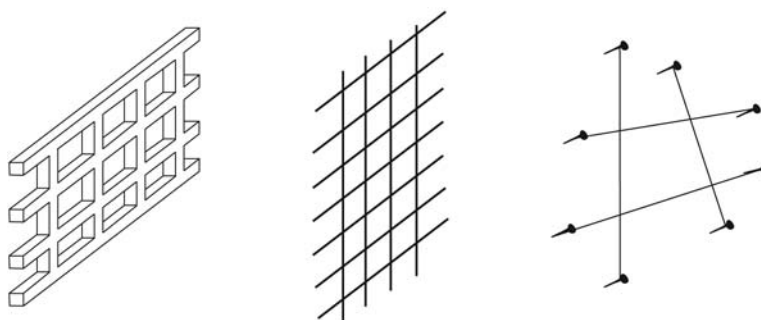


Figura 5.26: Tipologie più comuni di ancoraggio del verde alla parete: graticcio, rete, cavi tesi.

E' molto importante la selezione delle specie vegetali con cui realizzare la parete verde. Queste vanno scelte in base al contesto climatico in cui si vanno a collocare per garantirne la sopravvivenza e la piena efficacia, ma soprattutto vanno scelte in base alla funzione che devono svolgere. La capacità di schermare è influenzata dalla copertura e dalla geometria foliare propria di ogni singola specie; una specie caducifoglia ci consentirà di ombreggiare una parete in estate e di lasciarla esposta al sole in inverno.

Da non sottovalutare la capacità di uno schermo verde di rallentare il raffreddamento superficiale della parete sottostante e di smorzare l'azione della pioggia battente e del vento.

L'integrazione di sistemi viventi con un edificio in legno merita alcune attenzioni particolari. E' necessario evitare che questi attivino o facilitino processi di degradazione o decomposizione delle parti lignee favorendo infiltrazioni d'acqua o l'accesso ad insetti. E' importante a tal proposito distaccare gli schermi verdi dall'edificio, lasciando una

intercapedine d'aria che eviti il formarsi di concentrazioni di umidità sulla superficie delle pareti esterne. Le specie vanno inoltre selezionate con cura, differenziandole in base all'esposizione cosicché le pareti sottostanti possano sempre asciugarsi.

Rivestimenti in legno massello

I rivestimenti esterni in legno, sono ormai entrati a far parte integrante del "linguaggio" dell'architettura contemporanea a tutte le latitudini; essi provengono da una tradizione secolare che in forme diverse ritroviamo in tutti e cinque i continenti. In Europa è una tradizione ancora viva nei paesi de Nord e nelle regioni montane come le nostre Alpi.



Figura 5.27: Esempi contemporanei di rivestimenti in legno.

Nella storia, la scelta di utilizzare rivestimenti in legno, ove non fosse l'unica risorsa per le costruzioni disponibile, è legata principalmente alla necessità di proteggere l'edificio da ambienti esterni aggressivi e dalla necessità di ventilare gli ambienti interni. Gli ambienti marini, ad esempio, uno dei contesti più aggressivi a causa dell'azione erosiva e corrosiva di vento e salsedine, sono caratterizzati da un vasto uso di rivestimenti in legno, mutuati dall'esperienza e dalle tecniche maturate per la realizzazione delle imbarcazioni. Ancor oggi è facile associare le coste del Mare del Nord e del Mar Baltico a colorati edifici in legno.

La necessità di ventilare riporta invece agli ambienti rurali, a stalle, granai e fienili destinati a contenere merci per la cui conservazione o asciugatura è fondamentale un continuo ricambio d'aria per evitare pericolose concentrazioni di vapore acqueo ed umidità. Sulle Alpi troviamo stalle e masi con rivestimenti in legno integri che hanno più di cento anni.



Figura 5.28: Esempi di rivestimenti in legno nella tradizione. Facciate di abitazioni in Islanda; un fienile sulle Alpi Carniche.

Protezione dagli agenti atmosferici e ventilazione sono le due principali funzioni cui si associa ancora oggi l'impiego dei rivestimenti in legno. I rivestimenti si presentano generalmente nella forma di tavole orizzontali, diagonali o verticali, o da scandole.



Figura 5.29: Alcune tipologie di rivestimenti in legno. A tavole verticali, a tavole orizzontali, a scandole.

Scandole, shingles and shakes. Le scandole sono “schegge”, assicelle di legno, ricavate tagliando (shingles) o spaccando (shakes) tronchetti di legno non stagionato, posate in strati sovrapposti ed utilizzate

principalmente per la copertura dei tetti. Le scandole ottenute manualmente, a spacco, sono più resistenti in quanto le fibre superficiali si presentano intere e oppongono maggiore resistenza all'assorbimento dell'acqua. Le scandole prodotte industrialmente, a taglio sega, hanno un aspetto meno rustico ma comportano il taglio longitudinale delle fibre superficiali rendendole vulnerabili all'assorbimento di acqua.

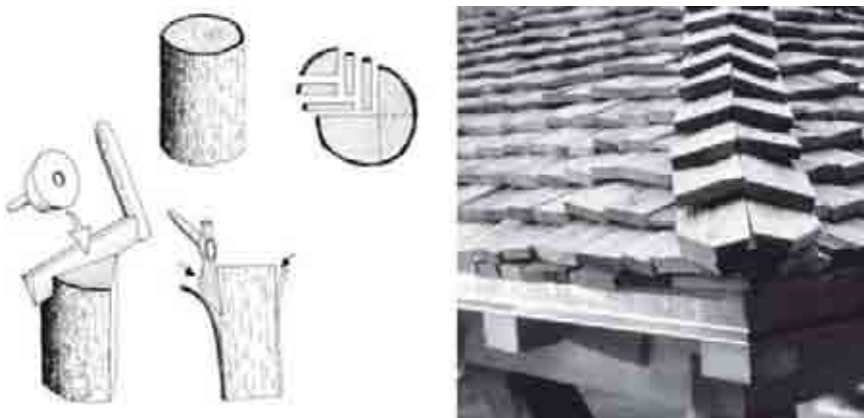


Figura 5.30: Lavorazione e realizzazione con scandole in castagno.

Attualmente l'utilizzo delle scandole è praticamente scomparso dal territorio nazionale fatte salve alcune regioni dell'arco alpino in cui il loro impiego è legato soprattutto alla volontà di contestualizzare alcuni edifici con l'ambiente montano. Sulle Alpi il legno più utilizzato è il larice affiancato dal pino e dall'abete; in altre regioni troviamo il castagno, nei trattati storici il rovere o il faggio. In America del Nord il legno più comune è il "Western Red Cedar", essenza impiegata diffusamente per tutte le tipologie di rivestimento esterno e largamente importata anche in Europa.

Le essenze citate sono tutte, ad eccezione di pino ed abete, essenze dure le cui caratteristiche di resistenza consentono di utilizzare le scandole al naturale senza impregnati e trattamenti chimici.

La dimensione di una scandola si aggira tra un minimo di 150mm x 450mm x 10mm ed un massimo di 250mm x 600mm x 25mm.

Il punto debole delle scandole sono le superfici in cui le fibre sono più esposte, ovvero i fianchi e, soprattutto, le teste che offrono all'esterno le fibre segate trasversalmente. Nella realizzazione di un rivestimento si dovrà fare molta attenzione a proteggerne le superfici laterali e la parte sommitale con lattoneria adeguata, meglio se in rame poiché il solfato di rame prodotto dalla pioggia, agisce localmente come biocida. Altrettanto importante è la circolazione dell'aria e la

possibilità, attraverso un giunto di almeno 5 mm tra un elemento e l'altro, che le singole scandole possano "muoversi" reciprocamente.

Al di sotto del rivestimento in scandole va comunque installato un telo traspirante che impedisca ad eventuali infiltrazioni di acqua di procedere attraverso la parete o la copertura.

La pendenza minima delle coperture deve essere del 30% per evitare qualsiasi ristagno d'acqua.

La durata media di un rivestimento in scandole va dai 50 anni del rovere ai 10-20 anni dell'abete. Per una corretta manutenzione è necessario che le scandole siano facilmente accessibili consentendo l'eventuale sostituzione di elementi deteriorati. Eventuali funghi o muffe superficiali possono essere rimosse con una spazzola.

Tavole in legno massello. Il rivestimento in tavole di legno massello è il rivestimento ligneo che con più successo è stato traghettato dalla tradizione nel linguaggio dell'edilizia contemporanea, grazie anche a importanti processi di industrializzazione.

Nella tradizione le tavole, segate dopo un adeguato periodo di stagionatura, erano posate in opera orizzontalmente sovrapponendole l'una sull'altra. I trattamenti, quando presenti, consistevano nell'impregnazione con oli e resine naturali o nella bruciatura della superficie esterna.

La meccanizzazione dei processi di trasformazione e lavorazione ha prodotto tavole con profili sagomati che ne consentono la posa complanare con giunti del tipo maschio femmina. La sagomatura della tavola consente di migliorare le prestazioni del rivestimento ed allo stesso tempo, di gestirne il disegno, la composizione.

I paesi occidentali che hanno oggi la normativa e la legislazione tecnica più completa nell'ambito dei rivestimenti in tavole sono il Canada ed i paesi Scandinavi; a queste normative si farà riferimento per le indicazioni che si forniranno di seguito.

Attualmente l'essenza più utilizzata per i rivestimenti in legno è il Western Red Cedar, conifera proveniente principalmente dalle foreste della British Columbia (Canada). Alcune ricerche (Greenpeace) hanno evidenziato che gran parte di questo legname proviene da foreste non certificate (gestione non sostenibile).

Tra le essenze europee quelle che hanno caratteristiche di durabilità più simili al Red Cedar sono il Larice (europeo e siberiano), la Robinia e la Quercia. La Quercia ha costi troppo alti, a meno che non sia messa in opera non stagionata. In questo caso in fase di realizzazione si dovranno avere alcune accortezze per consentirne l'assestamento. La Robinia è un'essenza molto interessante per le sue caratteristiche di resistenza all'esterno e di difficile aggredibilità da parte di funghi. E' poco utilizzata perché di non semplice lavorabilità; di contro è di facile

coltivabilità e reperibilità tant'è che in alcuni paesi è considerata infestante.

A causa della difficile tracciabilità del Larice Siberiano, l'alternativa più realistica ai legni americani, in Europa, attualmente, è il Larice Europeo.

Le caratteristiche da valutare per la scelta dell'essenza da impiegare sono descritte in apposite tabelle come quella in figura 5.31, tratta dal BS EN 350-2: 1994. La durabilità intrinseca del materiale è fondamentale poiché ci consente, a meno di particolari condizioni, di poter utilizzare il legname senza alcun trattamento e rivestimento ulteriore.

CLASSE DI DURABILITÀ DEL DURAME DI ALCUNE ESSENZE COMUNI PER RIVESTIMENTI ESTERNI IN LEGNO					
Classe di durabilità del durame	1	2	3	4	5
	molto durabile	durabile	moderatamente durabile	poco durabile	non durabile
Essenze utilizzate per il rivestimento	Noce				
		Quercia Europea			
			Cedro Rosso Americano		
				Larice Europeo, Abete e Giapponese	
				Abete Douglas	
				Pino di Svezia	
					Abete Rosso
					L'albero di tutte queste essenze è classificato come non durabile

Figura 5.31: Tabella con la classe di durabilità di alcune essenze legnose di uso comune.

La promozione dell'impiego del legno all'esterno, ove non vi sia una tradizione consolidata, è frenata da dubbi e resistenze legate alla vulnerabilità al fuoco, alla manutenzione ed ai presunti costi elevati.

E' importante evidenziare alcune criticità che rendono invece quella del legno una scelta appetibile.

1. **Sostenibilità:** la natura del materiale; la possibilità di non trattarlo e di renderlo quindi esente da sostanze potenzialmente dannose per l'uomo e l'ambiente, cosicché al termine del ciclo di vita, possa essere biodegradato e non smaltito come rifiuto speciale; la sua affinità con altri materiali naturali impiegati; la traspirabilità intrinseca; la possibilità di approvvigionamento locale.

2. **Costi:** i maggiori costi possono essere compensati con il risparmio di intonaco e mattoni, con l'alleggerimento dell'edificio ed il conseguente ridimensionamento delle fondazioni. Un rivestimento in legno può essere inoltre un efficace supporto per i sistemi di isolamento a cappotto.

3. Immagine: il legno non deve essere più associato ad edifici a basso costo e si deve restituire valore alla sua nudità alla stregua di materiali come il rame e la pietra.

4. Autocostruzione: i rivestimenti in legno si prestano ad interventi di autocostruzione per la flessibilità, la semplicità di montaggio e l'accessibilità al materiale ed agli strumenti di posa.

Durabilità e manutenzione

La durabilità di una facciata in legno oltre alla durabilità intrinseca dell'essenza impiegata è legata ad una corretta progettazione, costruzione e manutenzione della stessa.

La rottura o il decadimento di alcune componenti sono generalmente provocati dalla posa in opera di legname non adeguato (stagionatura, contenuto di umidità, pezzo) o per l'infiltrazione di acqua a causa di scorrettezze nella manutenzione o nei dettagli costruttivi.

Si ricorda che la condizione più pericolosa per un materiale deperibile è il ristagno dell'acqua che attiva, inevitabilmente, processi di degradazione e marcescenza.

Il legno è un tessuto igroscopico quindi assorbe e rilascia vapore acqueo fino a raggiungere l'equilibrio con l'ambiente circostante. Il valore di equilibrio del contenuto di vapore acqueo si attesta intorno al 16% con oscillazioni tra il 12% ed il 20%. Al momento dell'installazione questa percentuale dovrebbe attestarsi tra il 13% e il 19%, a meno che non si stia installando di proposito legname non stagionato. Quando il contenuto di vapore d'acqueo supera il 25% - 30% (valori oltre le normali condizioni di esercizio) intervengono movimenti trasversali alle fibre la cui entità è legata all'essenza impiegata. Questi movimenti si traducono in sollecitazioni sugli ancoraggi e su tutto ciò che "contiene" le tavole.

Alcuni accorgimenti per contenere gli effetti delle dilatazioni trasversali sono: la riduzione della larghezza della tavola, il posizionamento del cuore verso l'esterno in maniera che asciugandosi i collegamenti tra le tavole rimangono serrati; il dimensionamento dei giunti per consentire alle singole tavole di potersi muovere reciprocamente; l'evitare di chiodare insieme due tavole.

Se il contenuto di vapore acqueo si mantiene nel range suggerito è molto difficile un attacco biologico (funghi, ed insetti).

. Accorgimenti costruttivi

Nella realizzazione di un rivestimento esterno in legno si deve avere grande cura nella gestione dell'acqua e dell'umidità. L'umidità che proviene dall'interno dell'edificio deve poter uscire all'esterno ed essere smaltita nell'ambiente. L'acqua proveniente dall'esterno non deve penetrare il rivestimento ligneo e se questo dovesse accadere deve poter essere smaltita il più velocemente possibile. Si devono evitare

accumuli di acqua o umidità negli strati interni della parete, negli elementi di cui è costituita e tra il rivestimento e l'edificio.

Si consiglia di non installare il rivestimento a contatto diretto con la parete sottostante. Un sistema efficace è quello di applicare il tavolato su di una listellatura verticale con un passo tra i listelli tra 40 e 60 cm per consentire la ventilazione. Tra la listellatura e la parete si posizionerà una guaina traspirante, permeabile al vapore acqueo, che consentirà lo smaltimento del vapore acqueo proveniente dall'interno dell'edificio ed allo stesso tempo impedirà che l'aria che circola all'interno dell'intercapedine raffreddi la superficie della parete.

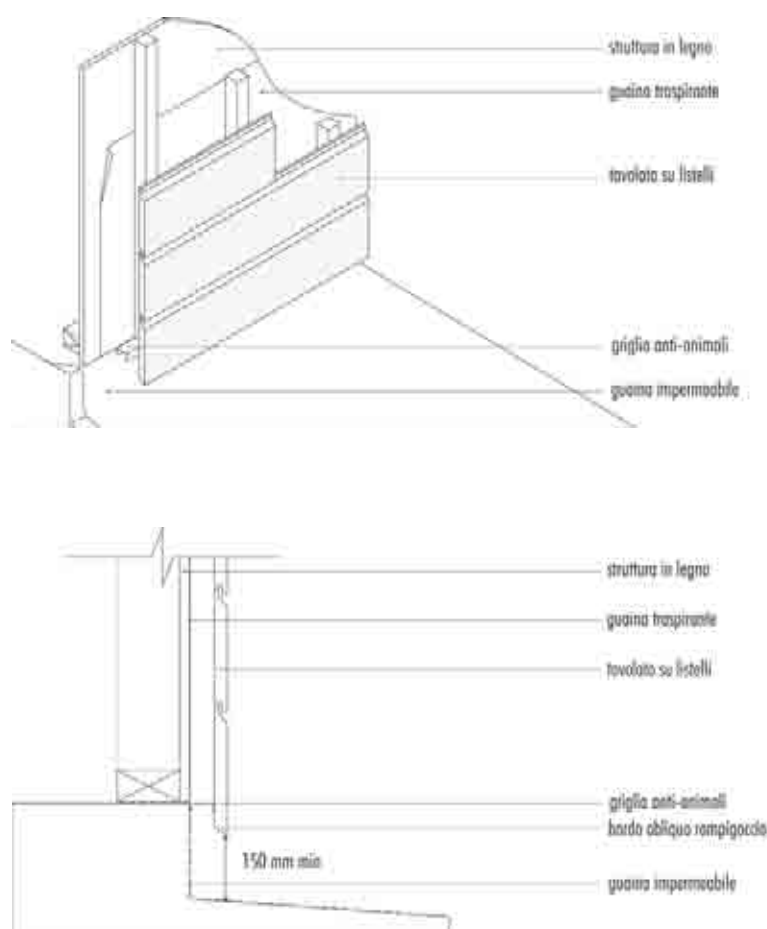


Figura 5.32: Ricostruzione assonometrica e sezione di una parete tipo in legno. In evidenza l'intercapedine ventilata e le attenzioni da prestare alla base del rivestimento.

L'intercapedine servirà anche a smaltire l'acqua che dovesse penetrare dall'esterno a causa di piogge intense e prolungate. A questo proposito sono fondamentali alcuni accorgimenti costruttivi e l'impiego di lattonerie opportunamente sagomate. La parte sommitale del rivestimento sarà protetto dalla pioggia con l'aggetto del tetto o comunque con una scossalina distaccata dall'ultima tavola per consentire la circolazione dell'aria e sagomata con un'aletta rompigoocia [dettaglio]. Le teste delle tavole saranno anch'esse protette da scossaline per evitare che l'acqua penetri attraverso le fibre tagliate trasversalmente [dettaglio]. Se il rivestimento ha un'altezza importante è bene provvedere ad installare scossaline intermedie che intercettino e smaltiscano l'acqua raccolta dalla parete [dettaglio]. La parte inferiore del rivestimento dovrà essere distaccata dal terreno almeno 15 – 20 cm e l'ultima tavola dovrebbe essere sagomata in maniera che lo spigolo inferiore agisca da rompigoocia [dettaglio]. Tutte le aperture perimetrali al rivestimento dovrebbero essere protette con reti per impedire l'ingresso ad animali ed insetti.

La membrana traspirante è l'elemento fragile del sistema. Si farà quindi attenzione che non possa essere danneggiata dall'esterno e che non sia esposta direttamente al sole sottoponendola a processi di fotodegradazione.

Le tavole saranno sagomate realizzando giunti di sovrapposizione che impediscano l'ingresso dell'acqua. I giunti tra le tavole possono essere chiusi o aperti. Alcuni paesi come la Norvegia non prevedono la possibilità di giunti aperti poiché attraverso questi si potrebbe danneggiare la sottostante membrana. In altri paesi come la Scozia i giunti aperti sono accettati a patto di proteggere adeguatamente la membrana sottostante. La presenza di giunti aperti permette dilatazioni delle tavole anche importanti, consentendo l'installazione di tavole di maggior larghezza ma soprattutto l'impiego di legname non stagionato e quindi più economico e più facilmente reperibile localmente.

E' fondamentale infine evitare superfici lignee orizzontali su cui l'acqua possa stagnare.

Trattamenti

Il legno all'esterno va incontro a naturali processi di decadimento a causa dell'azione degli agenti atmosferici e dei raggi UV (fotodegradazione). La scelta di un'essenza resistente, una corretta stagionatura, gli accorgimenti costruttivi sopra descritti ed una corretta manutenzione, impediranno che il decadimento comprometta l'integrità e l'efficacia del rivestimento producendo solo un cambiamento del colore e della trama superficiale.

Anche un eventuale attacco biologico (insetti e funghi) può essere ridotto drasticamente impiegando essenze difficilmente aggredibili, rimuovendo sempre l'alburno ed evitando che si creino le condizioni che favoriscono la proliferazione di muffe e funghi e l'aggressione da parte degli insetti.

Se non trattato il legname invecchierà naturalmente assumendo una tipica colorazione grigio-argento. Le facciate di edifici storici e dei masi alpini testimoniano che il legno non trattato può resistere decenni all'esterno senza degradarsi.

Se vogliamo "arrestare" il naturale invecchiamento superficiale del rivestimento possiamo applicarvi impregnanti e vernici naturali a base di resine naturali ed oli essenziali che garantiscano comunque la traspirabilità del materiale.

Una vernice opaca, permeabile al vapore, ha una durata quasi doppia rispetto ad un rivestimento trasparente. Si evitino colori troppo chiari che consentono la penetrazione dei raggi UV e colori scuri che portano effetti di surriscaldamento superficiale.

L'eventuale impiego di trattamenti o rivestimenti chimici va valutato in base al rischio cui espone l'eventuale decadimento della componente lignea da trattare.

Ricordiamo che un trattamento chimico priverà il legname delle sue naturali doti di traspirabilità e che, al termine del suo ciclo di vita, dovrà essere smaltito come rifiuto speciale.

Tutti i trattamenti che verranno dati superficialmente saranno comunque soggetti a dilavamento e a foto degradazione ad opera dei raggi UV perdendo in breve tempo qualsiasi efficacia. Qualunque trattamento dovrebbe essere effettuato prima della posa in opera in maniera che anche tutte le superfici a contatto con altri elementi o materiali siano protette.

Qualunque vernice coprente, a causa dell'azione essiccante del sole e la pressione sottostante del vapore acqueo, andrà incontro a distacco.

Le teste delle tavole in cui la fibra tagliata trasversalmente è esposta devono essere protette dall'assorbimento di acqua.

Le superfici scabre, a taglio sega, assorbono più impregnante e lo trattengono più a lungo allungano i cicli di manutenzione.

E' bene evitare profili con spigoli vivi; in questi punti il rivestimento sarà più sottile ed avrà una durabilità minore.

Sulle facciate più esposte o più difficilmente accessibili, è preferibile evitare di trattare il legname, scegliendo piuttosto un'essenza più resistente.

Se il rivestimento necessita di essere trattato periodicamente, lasciare un giunto di almeno 10 mm verso altri materiali in maniera da poter ricoprire agevolmente tutte le giunzioni.

Fare attenzione alle viti sul lato esterno poiché la testa rompe le fibre esterne e crea un punto di possibile marcescenza. Se le viti o le chiodature sono applicate nelle giunzioni, assicurarsi che siano inaccessibili all'acqua altrimenti porteranno acqua all'interno della tavola.

Shou-sugi-ban o *yaki-sugi*. Una tecnica tradizionale giapponese che prevede la bruciatura superficiale delle tavole (con un bruciatore), la rimozione della parte carbonizzata con una spazzola, il lavaggio, l'essiccazione ed infine il trattamento con un turapori naturale a base di olio. Il Sugi è il Cedro Giapponese, una specie di cipresso. In occidente questo trattamento è stato applicato con successo sul Red Cedar. Il risultato è un rivestimento con un colore cangiante tra il nero, l'argento ed il marrone scuro, con una particolare resistenza all'acqua, al decadimento e al fuoco.

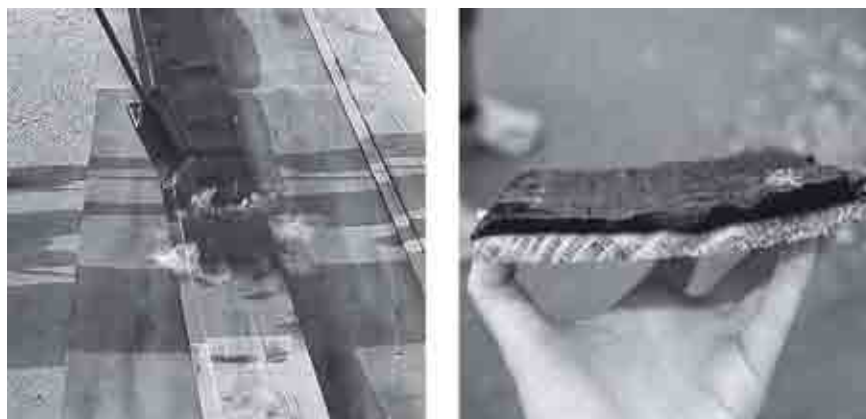


Figura 5.33: *Shou-sugi-ban*, tecnica tradizionale di trattamento del rivestimento in legno tramite bruciatura superficiale delle tavole.

Falu rödfärg. Il rosso Falun è una vernice per esterni tradizionale svedese in uso dal sedicesimo secolo. La colorazione varia dal rosso mattone al nero ed è composta di acqua, farina di segale, olio di lino ed i residui delle miniere di rame di Falun (cittadina a nord di Stoccolma) che contengono silicati ossido di ferro, composti di rame e zinco. In esterno ha una permanenza di 15 – 20 anni. Provenendo dalle regioni del Nord Europa è da verificare il decadimento in presenza di forte soleggiamento.

Trattamento termico del legno. Per aumentare la stabilità del legname e la sua resistenza agli attacchi biologici lo si può sottoporre a trattamenti termici. Il legno viene esposto ad alte temperature (200 – 260 gradi) per circa 24 h, il risultato è una colorazione più scura, un aumento della stabilità dimensionale, un accrescimento della

resistenza contro gli attacchi fungini. L'unica controindicazione sembra essere una riduzione delle proprietà meccaniche. Negli ultimi anni questo trattamento è utilizzato soprattutto per ottenere su legname europeo colorazioni molto scure, sia in interno che in esterno, tipiche di alcune essenze tropicali. Un esempio è la facciata del padiglione Finlandia all'expo di Hannover.

Vaporizzazione. Il legname viene trattato, in apposite camere, con vapore a 100° per circa 20 ore. Il risultato è fondamentalmente una variazione, inscurimento, del colore dell'essenza.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Banham Reyner - Architettura della seconda età della macchina - Electa 2004
- [2] Imperadori Marco - La meccanica dell'Architettura – in Architettura integrata, soluzioni per un futuro possibile – supplemento di Area 101.
- [3] Los Sergio e Pulitzer Natasha - L'Architettura della evoluzione Edizioni Luigi Parma – Bologna – 1977
- [4] Maturana H., Varela F. - L'albero della conoscenza – Garzanti Editori 1992
- [5] Pallante Maurizio - L'uso razionale dell'energia: Teoria e pratica del negawattora - Bollati Boringheri
- [6] Tafuri Manfredo - Storia dell'architettura italiana - Einaudi 1986
- [7] Zaffagnini Mario – Presentazione a L'architettura della evoluzione.
- [8] Thoma E. – “La natura del legno” - Edicom Edizioni, Monfalcone, 2009
- [9] Nutsch W. – “Finiture e interni in legno”- Sistemi Editoriali, Napoli, 2010
- [10] Haun L. – “Habitat for Humanity how to build a house”- The Taunton Press, Newtown, 2008
- [11] Davies I., Walker B., Pendlebury J. – “Timber Cladding in Scotland”- ARCA Publications Ltd, Edinburgh, 2002
- [12] Weismann A., Bryce K. – “Using natural finishes”- Green Books Ltd, Devon, 2008
- [13] Braungart M., McDonough W., - “Dalla culla alla culla” - Blu Edizioni, Torino, 2003
- [14] Hugues T., Steiger L., Weber J. - “Timber Construction” - Birkhauser Edition Detail, Munich, 2004
- [15] “Installing Prefinished Hardwood Flooring” - Bayside USA, LLC d/b/a FindAnyFloor.com, 2008

**Aspetti legati al
montaggio e alla
sicurezza. Autocostruzione
e edifici smontabili.**

6.2. AUTOCOSTRUZIONE

Per autocostruzione intendiamo un processo di edificazione che ha come protagonisti gli utenti finali. Questi garantiscono un monte di ore di lavoro in un cantiere diretto da professionisti e tecnici specializzati adeguatamente formati. L'idea di fondo di questo processo è che l'utente finale, il futuro abitante, partecipi concretamente alla realizzazione della propria abitazione.

Si ricorre all'autocostruzione quando c'è una difficoltà, da parte di singoli individui o nuclei familiari, di accesso al bene casa, per indigenza, per condizione sociale, per emergenza.

A monte c'è, generalmente, un'associazione o un ente che si occupa di coordinare il processo, di reperire e gestire eventuali finanziamenti, di reperire e formare il personale tecnico.

6.2.1 Obiettivi

Accesso alla proprietà della prima casa ai nuclei che non potrebbero accedere al libero mercato. Promozione della convivenza tra diverse componenti etniche per una migliore coesione sociale. Promozione di processi di condivisione, partecipazione e cooperazione per migliorare la coesione sociale. Rendere disponibili unità abitative in tempi rapidi e a basso costo in situazioni di emergenza.

6.2.2 Sostenibilità ed autocostruzione

L'autocostruzione ha notevoli potenzialità formative. Gli autocostruttori sono protagonisti di tutte le fasi del processo, dalla programmazione alla progettazione, dalla costruzione alla gestione finale del bene.

L'abitante progettista e costruttore ha la possibilità di conoscere a fondo, attraverso la condivisione di un sapere partecipato, i materiali, le componenti, i sistemi ed i servizi che sottendono ad una abitazione. Misurerà personalmente il suo costo in termini energetici ed ambientali; sperimenterà il piacere dell'impiego di materiali appropriati, naturali, bio-compatibili all'interno della propria casa.

La scelta di materiali ecologici, che non contengano sostanze chimiche potenzialmente dannose alla salute dell'uomo, rende il cantiere più sicuro. Il costruttore potrà maneggiare, tagliare, assemblare i diversi materiali senza il rischio di danni al sistema respiratorio, alla pelle, agli occhi.

Costruendo si conosce, conoscendo si riducono i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria; il proprietario saprà come prendersi cura

della propria casa, come mantenerla in efficienza (automanutenzione) ed, eventualmente, ripararla (autorecupero).

6.2.3 Quadro normativo

Il processo autocostruttivo deve inserirsi nel quadro normativo nazionale/regionale che disciplina l'edilizia, il lavoro e la sicurezza in cantiere. La difficoltà di gestire il lavoro volontario.

6.2.4 Progettare per l'autocostruzione

In un processo completo di autocostruzione anche la progettazione è partecipata. Il progettista si fa mediatore ed interprete delle esigenze e dei desideri dei futuri abitanti. E' un processo lungo e complesso per cui in situazione di emergenza spesso non è contemplabile.

Il progettista deve simulare con attenzione l'intero processo costruttivo per mettere in grado gli attori di poter partecipare attivamente a tutte le fasi. Il progetto deve essere in un certo qual modo **labile**, deve cioè contenere la possibilità di assorbire imprecisioni costruttive. Essendo inoltre l'autocostruttore anche l'utente finale, il progetto dovrebbe lasciare spazio a momenti di personalizzazione in fase di cantiere, se non addirittura di varianti, soprattutto nelle finiture e nell'articolazione degli spazi interni ed esterni.

6.2.5 Dirigere un cantiere di autocostruzione

Il coordinatore, o direttore dei lavori, di un cantiere di autocostruzione è colui che ha la maggiore responsabilità della riuscita dell'intero processo, del rispetto dei tempi, della qualità e conformità del prodotto finale. Oltre a conoscere approfonditamente regolamenti e normative, materiali e sistemi costruttivi, il coordinatore deve essere un insegnante, un supervisore, un moderatore, un conciliatore.

Ha la responsabilità della sicurezza di tutte le persone presenti in cantiere.

Il ruolo del coordinatore non è quello di costruire le abitazioni ma di formare e coordinare le famiglie perché le costruiscano. A questo proposito, questi sono i compiti cui dovrebbe assolvere:

- . programmare la partecipazione in base alla disponibilità dei partecipanti, solitamente la sera e i fine settimana;
- . mantenere relazioni serene e produttive tra i partecipanti;
- . essere imparziale e corretto nell'assegnare le attività lavorative;
- . tenere accurati registri delle attività svolte e delle persone che le svolgono;

. assicurarsi che i materiali siano della qualità, quantità e tipologia richiesta e che siano in cantiere quando necessari.

6.2.6 Autocostruzione e sistemi costruttivi in legno

Un sistema costruttivo adatto all'autocostruzione dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- . Accessibilità. L'autocostruttore deve essere in grado, attraverso un veloce percorso formativo, di acquisire dimestichezza, di gestire e controllare con sicurezza l'intero processo costruttivo.
- . Capacità di compensare e/o nascondere le imprecisioni.
- . Flessibilità. Deve essere capace di adattarsi, modificarsi, modellarsi, di assorbire cioè la partecipazione in corso d'opera.
- . Ridondanza strutturale (iperstatico) per evitare che eventuali errori od imprecisioni ne compromettano la sicurezza statica.
- . Riduzione al minimo della necessità di competenze specialistiche.
- . Privilegiare sistemi di assemblaggio e montaggio a secco.

Se a queste caratteristiche aggiungiamo la possibilità di assemblare parti fuori opera; di trasportare e maneggiare le componenti senza l'ausilio di mezzi meccanici; di aggiustare e correggere facilmente eventuali imprecisioni,

è evidente che quello in legno è un sistema costruttivo ideale per l'autocostruzione.

L'autocostruzione di edifici in legno nasce negli USA, all'interno delle comunità dei Mennoniti e degli Amish per la realizzazione di fienili e chiese.

Il legno oltre all'elevata flessibilità e alla relativa semplicità di apprendimento consente la possibilità di prefabbricare parte o tutte le componenti.

A seconda delle finalità del cantiere di autocostruzione, possiamo immaginare che le parti in legno siano assemblate tutte fuori opera, in parte fuori opera, tutte in opera. Nella costruzione per l'emergenza possiamo realizzare tutte le componenti in officina, traendo magari giovamento dall'impiego di macchine a controllo numerico, per poi montarle rapidamente in situ. In questo caso l'autocostruzione riguarderà l'assemblaggio delle parti oppure le sole finiture interne od esterne.

- . L'organizzazione del cantiere
preparare il sito, collocare e tracciare l'edificio
- . Le fondazioni
tipologie, la ventilazione
- . Il solaio a terra

solaio ligneo, collegamento legno-calcestruzzo, predisposizione per gli impianti

. Muri e tramezzi

realizzare od installare le pareti; giunzioni; controventamenti; applicazione pannellature

. La copertura

collegamento alle pareti; coibentazione; ventilazione; lattonerie, grondaie e tenuta all'acqua

. Infissi e lattonerie

installazione; soglie; tenuta all'acqua

. Gli impianti

elettrico; idrico e termico

. Isolamento e ventilazione

pareti; soffitti; solai; dispositivi ed accorgimenti per la ventilazione

. Tamponamenti e pitture

applicazione tamponamenti; pitture

. Pavimentazioni

. Finiture interne ed esterne

6.3 PROGETTAZIONE DI EDIFICI SMONTABILI

6.3.1 Premessa

Nel panorama delle strutture di legno un aspetto decisamente interessante è rappresentato dal loro possibile utilizzo per la realizzazione di edifici multipiano completamente smontabili, in modo peraltro semplice e veloce.

La tecnica delle costruzioni in legno si è oramai sviluppata ad un livello tale da rendere non solo pensabile ma anche applicabile questa soluzione, che è stata sperimentata con successo recentemente sia nella fase di ricostruzione seguita all'evento sismico dell'aprile 2009 all'Aquila, che in tempi antecedenti attraverso la realizzazione di moduli abitativi smontabili in legno per le emergenze abitative (Progetto CLEA), che ha poi trovato una sua applicazione nel 2003 a Bonefro (CB) con la realizzazione di un villaggio di 50 case prefabbricate.

Come descritto nei capitoli precedenti, le strutture sono costituite da elementi prefabbricati, quali travi e pilastri in legno lamellare o pannelli di tavole a strati incrociati, tenuti insieme da connessioni di tipo meccanico: piastre, viti, chiodi o bulloni.

Abbinando a queste strutture tecnologie a secco è possibile progettare, con gli opportuni accorgimenti, edifici smontabili che presentino le stesse caratteristiche di comfort, estetiche e prestazionali degli edifici per così dire "immobili", da realizzare in tempi certi e notevolmente ridotti rispetto ai sistemi costruttivi tradizionali e caratterizzati da un elevato livello di sicurezza e di eco-efficienza, con conseguente minimizzazione delle spese di gestione da parte degli utenti.

La semplicità e velocità di assemblaggio dell'edificio sarà funzione del livello di prefabbricazione adottato nonché delle soluzioni che il progettista riuscirà a sviluppare.

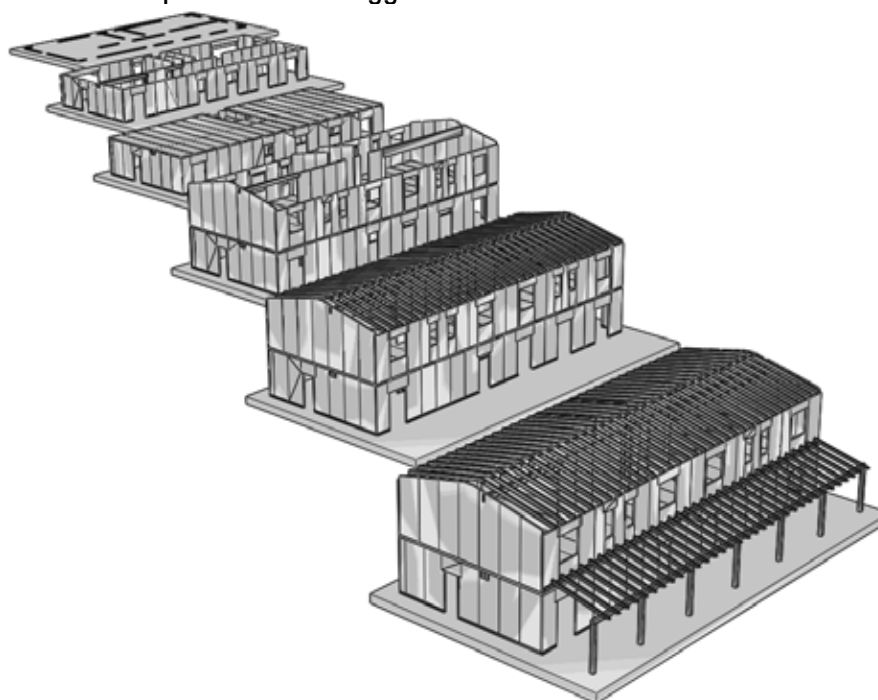
In particolare i sistemi costruttivi Platform Frame e Xlam, sia esso a pannelli unici o ad elementi di larghezza ridotta collegati con giunti verticali, consentono di raggiungere una prefabbricazione spinta, arrivando ad avere pareti preassemblate complete di coibentazione ed infissi.

In fase di progettazione sarà importante individuare le zone della struttura che dovranno essere tenute insieme da connessioni di tipo reversibile: così ad esempio si utilizzeranno viti o bulloni al posto dei chiodi o si prevederà di lasciare in fase di prefabbricazione alcune piastre attaccate ad uno dei due elementi da collegare.

Entrando nello specifico verranno di seguito esaminate le caratteristiche tecniche e le modalità costruttive di un'ipotesi di edifici multipiano temporanei da realizzare con il sistema costruttivo a pannelli portanti a strati incrociati.

Il sistema costruttivo a pannelli portanti a strati incrociati è stato scelto poiché particolarmente adatto al tipo di realizzazione in esame in quanto permette un estremo grado di prefabbricazione in stabilimento, consentendo così di ridurre al minimo le operazioni in cantiere e avere tempi di costruzione estremamente rapidi.

Il sistema costruttivo, nella sua applicazione tradizionale in opera, è già caratterizzato da un elevato livello di prefabbricazione e dalla possibilità di essere successivamente smontato. Pur essendo le pareti e i solai composti dalla successione di più pannelli che vengono assemblati in opera, mediante una attenta progettazione è possibile, numerando i pannelli e predisponendo il piano di carico per il trasporto in modo che in cantiere i pannelli vengano scaricati secondo la successione costruttiva del loro montaggio, ottenere un enorme risparmio di tempo tanto da far sì che anche per edifici di dimensioni notevoli e di un elevato numero di piani, si possa ragionare in termini di settimane per il loro montaggio.

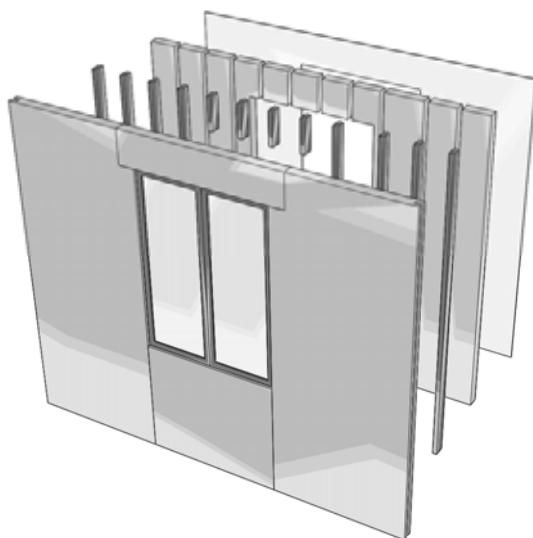


Inoltre la possibilità di collegare i vari elementi costruttivi mediante l'utilizzo di elementi meccanici di collegamento quali ad esempio le viti, consente facilmente anche un eventuale veloce smontaggio delle strutture già assemblate.

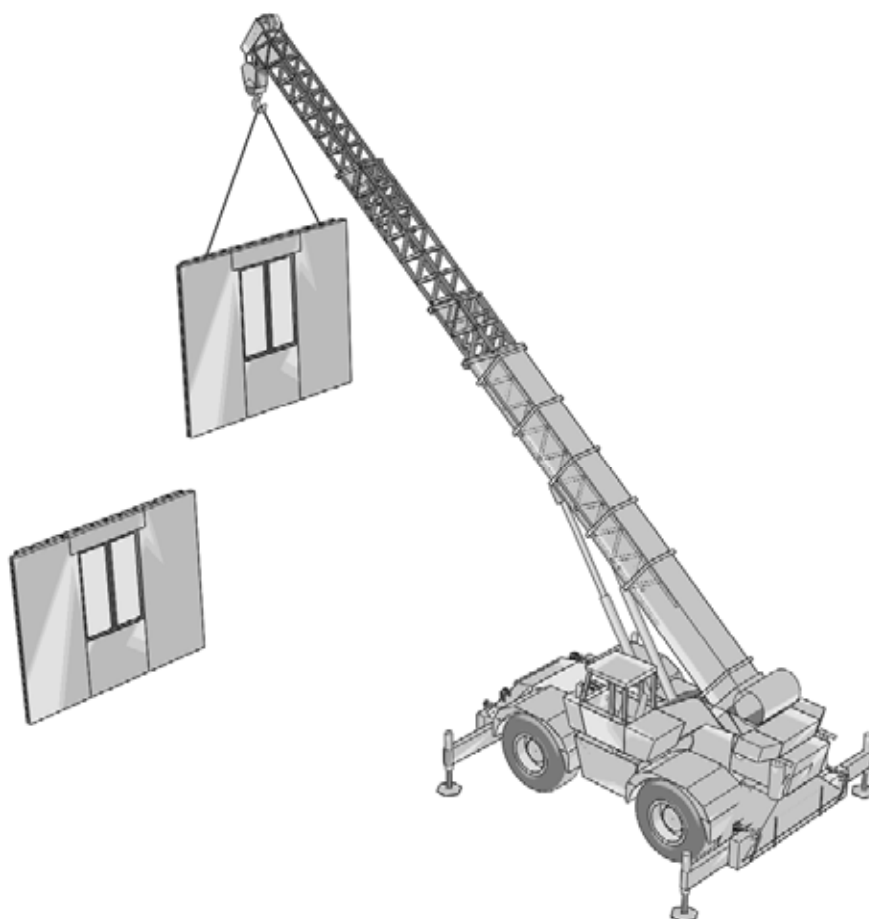
Partendo da questi presupposti le soluzioni individuate in questa ipotesi sono semplici e indirizzate alla realizzazione di elementi costruttivi pre-assemblati che consentano un processo costruttivo ancora più rapido e che affiancate da soluzioni reversibili per il collegamento rendano possibile un rapido assemblaggio e disassemblaggio.

Per quanto riguarda le pareti esterne esse potranno essere costituite dal pre-assemblaggio in stabilimento di più pannelli in legno a strati incrociati, eventualmente anche con l'inserimento degli infissi, ai quali viene già applicato il coibente sul lato interno (ad es. fibra di legno) inserito nell'intercapedine creata da listelli di legno fissati direttamente al pannello; il pacchetto è poi completato, sempre sul lato interno, con una lastra semplice o doppia di cartongesso. Sul lato esterno il pannello può essere lasciato a vista e per questo motivo l'ultimo strato è opportuno che venga realizzato con legno di larice, una specie legnosa più durabile dell'abete e con caratteristiche estetiche di pregio.

La parete interna può essere costruita in maniera analoga, ma coibentata e rivestita con il cartongesso su entrambi i lati.



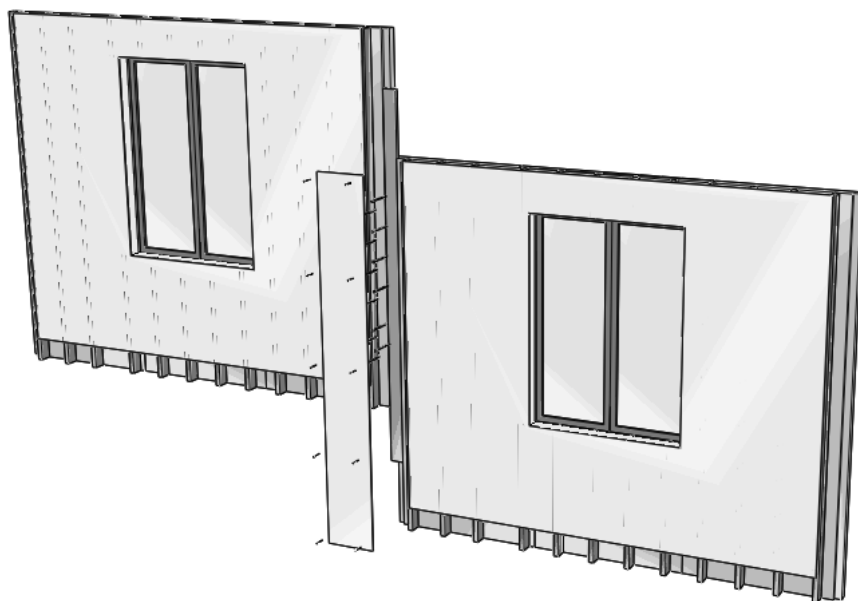
Partendo ad esempio da pannelli già fabbricati in larghezze standard di 1,25m (standard produttivo di uno dei maggiori produttori europei), allo scopo di minimizzare i tempi di montaggio si prevede che i pannelli arrivino in cantiere già collegati tra loro in pareti di lunghezza variabile tra i 2,50 e i 5,00 metri e completi di pacchetto di coibentazione, come appena illustrato.



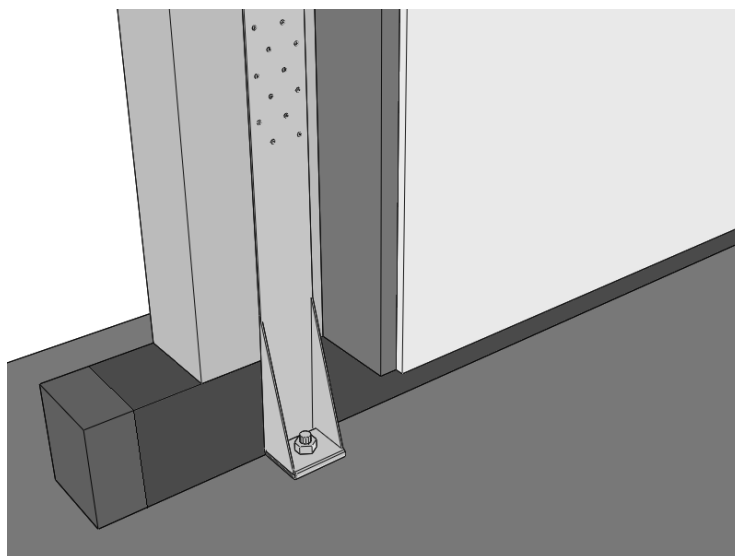
Agli estremi di ciascuna parete verranno lasciati privi di coibentazione 150mm di pannello per lato, in modo da consentire di realizzare in cantiere il collegamento verticale di pareti adiacenti tramite viti autoforanti disposte su tutta l'altezza della parete.

L'adozione delle viti come sistema di collegamento consente lo smontaggio della struttura per un suo eventuale riutilizzo futuro.

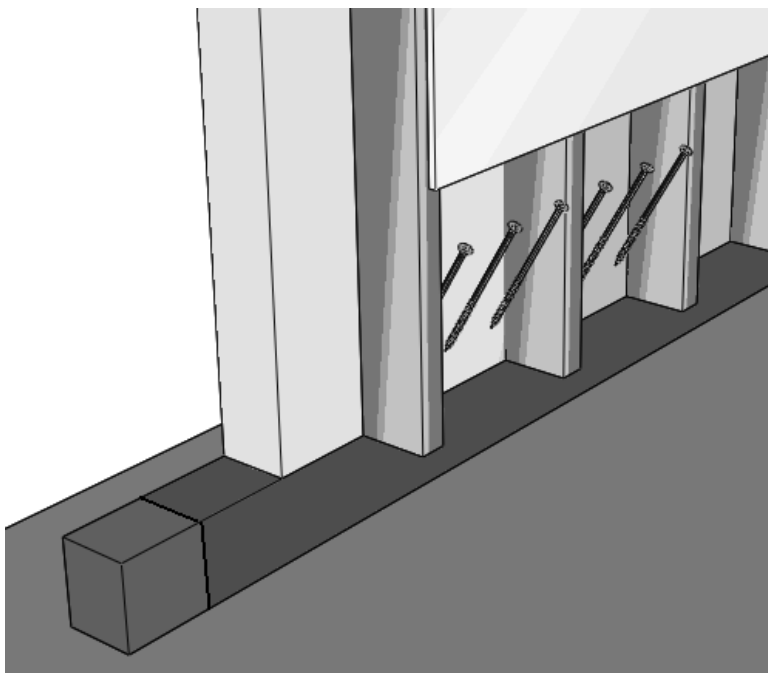
Una volta realizzato il collegamento, la parete verrà poi completata in opera inserendo il coibente e fissando un pannello di cartongesso tramite viti da cartongesso.



Il collegamento di presidio al sollevamento può essere realizzato con i classici hold-down utilizzati normalmente, già applicati alla parete in stabilimento e che verranno lasciati scoperti. Una volta effettuato il collegamento in opera si coprirà il tutto inserendo il coibente e fissando un pannello di cartongesso tramite viti da cartongesso.

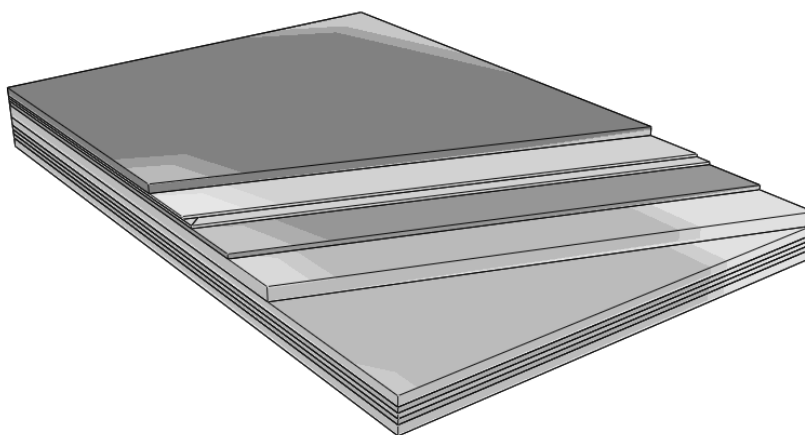


Per consentire di effettuare il collegamento di presidio allo scorrimento le pareti prefabbricate prevedranno una zona al piede di altezza pari a 350mm priva di rivestimento interno in cartongesso; in questo modo infatti sarà possibile effettuare il collegamento con il cordolo di base in larice tramite l'inserimento di viti auto foranti o al solaio di interpiano con piastre angolari, che in tal caso arriverebbero già pre-montate sulla parete.

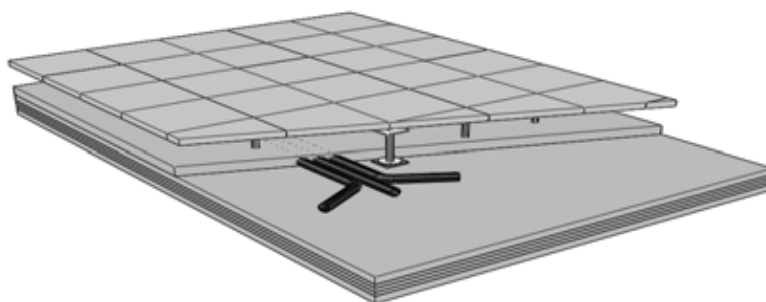


Analogamente a quanto visto per il collegamento verticale delle pareti, anche in questo caso sarà installato in opera un pannellino in cartongesso di completamento.

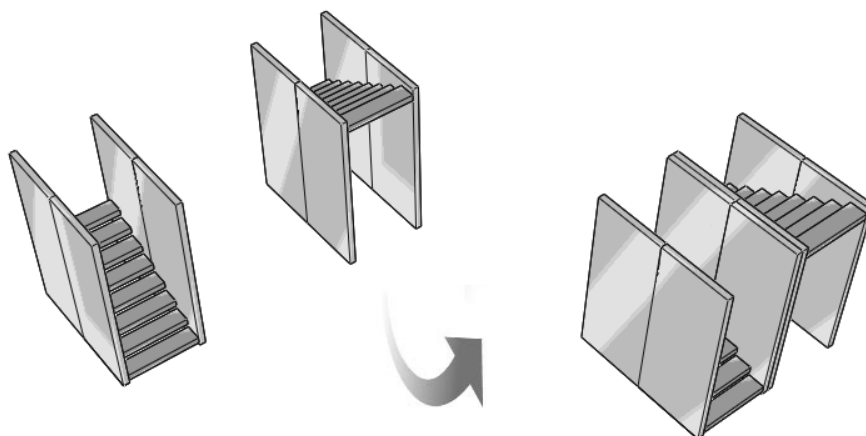
Per il completamento del solaio con il pacchetto di isolamento e la pavimentazione si possono adottare due diverse soluzioni. Una prima possibilità è quella di realizzare il pacchetto a secco e prevedere il passaggio degli impianti interamente in parete. Questa soluzione però rende necessario un maggior livello di prefabbricazione degli elementi parete che dovranno già prevedere al loro interno gli impianti montati.



La seconda soluzione prevede invece la realizzazione di un pavimento galleggiante modulare sopra i pannelli del solaio che verrebbero montati secondo il metodo tradizionale, utilizzando le viti. Questa soluzione, oltre a consentire una maggiore libertà nel posizionamento degli impianti, ne garantisce inoltre una più agevole ispezionabilità.

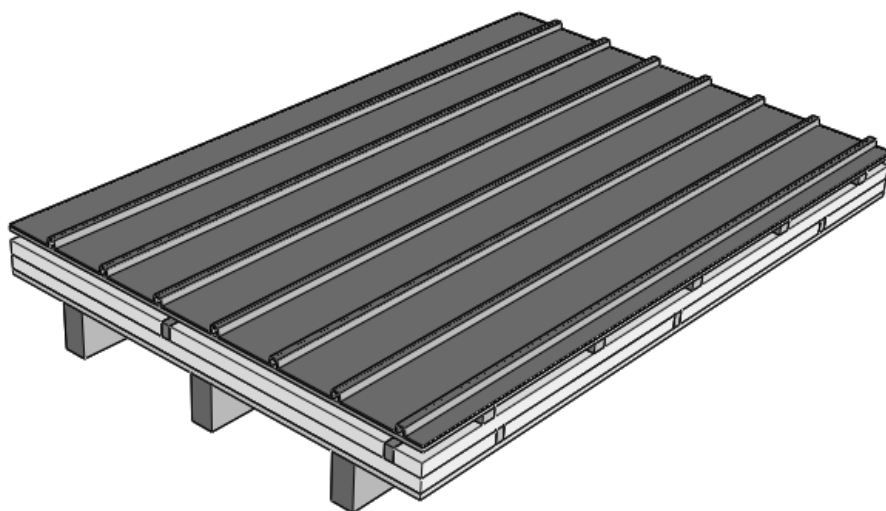


Per quanto riguarda il vano scale la sua realizzazione in opera richiederebbe un notevole allungamento dei tempi a causa dei numerosi elementi da collegare per realizzare i singoli scalini. Per ovviare a questo problema una possibilità potrebbe essere quella di accostare due elementi pre-assemblati in stabilimento, come mostrato in figura:



Si tratta sostanzialmente di accostare due rampe di scale, già complete di rivestimento interno con pareti in cartongesso. Questa soluzione oltre a ridurre i tempi di realizzazione in opera consente anche un facile smontaggio per un successivo riutilizzo.

Infine la copertura potrà essere anch'essa realizzata con elementi pre-assemblati in stabilimento, completa di pacchetto di coibentazione, listelli di ventilazione e lamiera come da progetto.



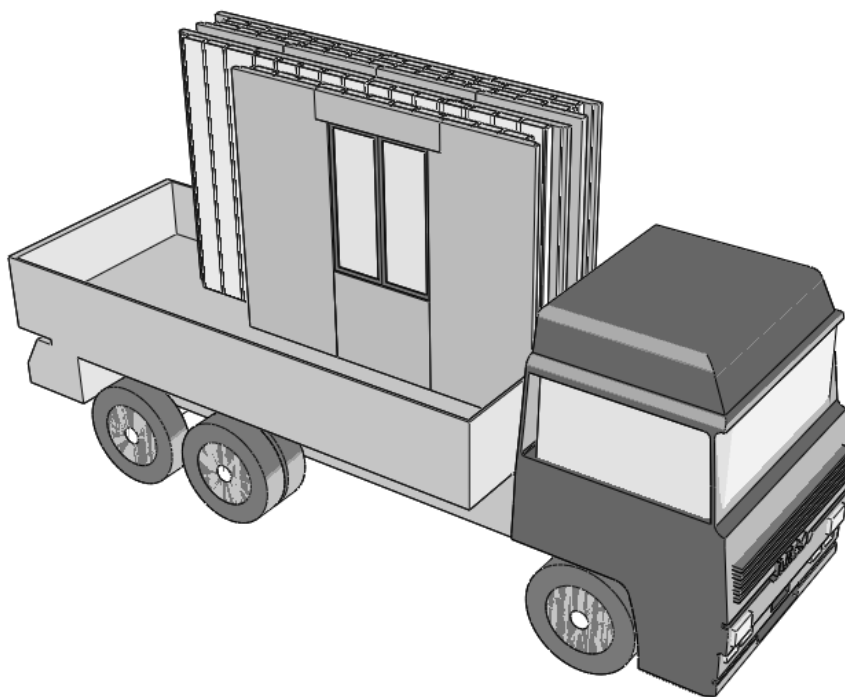
Per raccordare il manto di copertura nel punto di accostamento tra due elementi preassemblati si avrà cura in opera di aggiungere una striscia di lamiera a cavallo dei due tratti di copertura adiacenti.

6.3.1 Smontaggio e stoccaggio struttura

Qualora si presenti la necessità di smontare la struttura si dovrà sostanzialmente ripercorrere a ritroso le fasi sopra descritte. Avendo infatti adottato elementi di connessione reversibili si tratterà di svitare le viti ed i bulloni che servono a collegare i diversi elementi prefabbricati in stabilimento.

Per lo smontaggio delle pareti sarà necessario togliere i pannellini in cartongesso di completamento così da avere accesso diretto al giunto verticale in viti tra pannelli portanti in legno; analogo discorso vale per il giunto alla base delle pareti di presidio allo scorrimento.

Per il trasporto i diversi elementi dovranno essere disposti in verticale affiancati gli uni agli altri in modo tale da evitare il danneggiamento del pacchetto coibente e degli infissi predisposti all'interno dei pannelli. Nella fase di movimentazione e trasporto potranno danneggiarsi gli spigoli in cartongesso delle pareti; in tal caso al momento di un successivo riutilizzo dell'opera si provvederà a stuccare gli spigoli danneggiati o a sostituire i pannelli in cartongesso se necessario.



Per quanto riguarda lo stoccaggio dei diversi elementi costituenti la struttura in esame, esso dovrà essere effettuato in ambiente coperto e

asciutto in modo tale da assicurare un'ottimale conservazione degli elementi lignei. Anche in questa fase gli elementi parete e solaio dovranno essere posti in verticale l'uno a fianco all'altro.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A.A.V.V. – “Linee Guida per l’edilizia in legno in Toscana” – A cura della Direzione Regionale della Presidenza della Regione Toscana– Settore Edilizia Sostenibile – Firenze, 2009

Casi studio

7.1 EDIFICI RESIDENZIALI MONO O BI-FAMILIARI

7.1.1 Edificio per civile abitazione a Linguaglossa (CT)

L'edificio è una abitazione unifamiliare di due piani in area rurale alle pendici dell'Etna, costituito da piano terra e piano soppalcato e copertura a due falde per un totale di 180 mq, costruito con il sistema a pannelli portanti a strati incrociati.

La struttura in legno è costituita da pareti a tre strati di 71 mm di spessore in pannelli di larghezza massima di 3 m collegati fra loro con giunti verticali realizzati con strisce di LVL e viti autoforanti, solaio del soppalco costituito da travi di legno lamellare e pannelli a strati incrociati di 85 mm di spessore e infine copertura realizzata con travi principali e secondarie di legno lamellare e irrigidimento con sovrastante tavolato di abete e pannello di OSB da 15 mm collegato all'orditura con viti.



Figura 7.1: Vista tridimensionale delle strutture dell'edificio.

Nella prima esperienza di realizzazione on site di una casa in legno con sistema a pannelli portanti a strati incrociati nella provincia nord etnea (e probabilmente dell'intera Sicilia), sono stati rispettati quasi tutti i requisiti richiesti e relative risposte progettuali.

Tempi di realizzazione rapidi, economie contenute, uso di materiali biologici e tecnologie per la produzione ed il risparmio energetico, ma soprattutto l'uso di maestranze locali. Riteniamo, infatti, fondamentale il coinvolgimento completo del mercato e delle imprese locali, nel tentativo di avviare un'esperienza che innovi il sistema di produzione edile e le possibilità espressive nel fare architettura compatibile con le nuove emergenze ambientali, energetiche ed economiche. Da questo punto di vista è risultato alquanto anomalo nella nostra esperienza di cantiere ricevere una quantità di visite insospettabile, di addetti e non ai lavori.

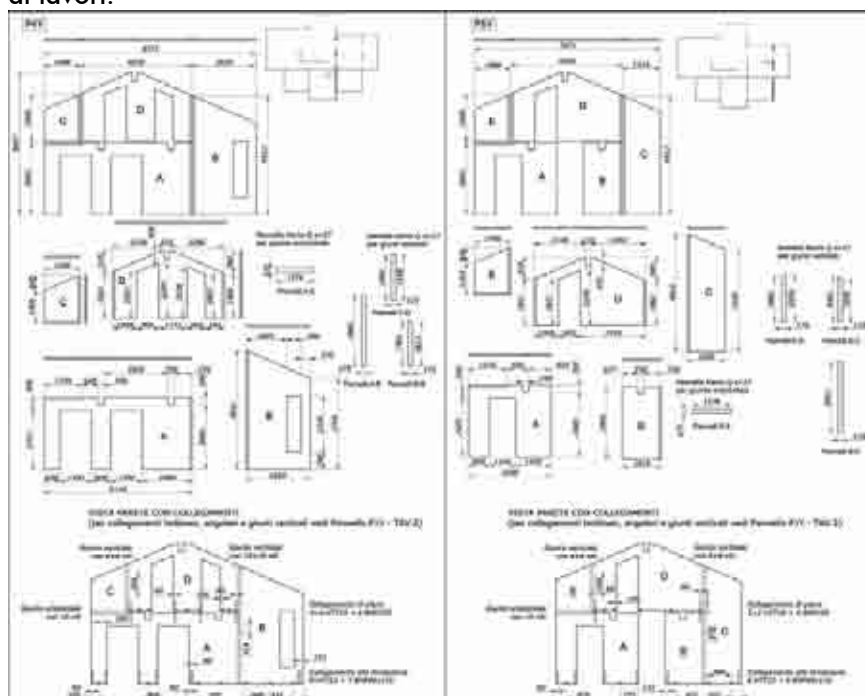


Figura 7.2: Tavole di montaggio delle pareti. Ogni singola parete è disegnata nel suo insieme, poi esplosa negli elementi che la compongono, ognuno disegnato con tutte le lavorazioni previste sul singolo pezzo e quotato in millimetri e infine viene riportato un disegno di insieme della parete con tutti i collegamenti meccanici di assemblaggio.

La progettazione architettonica, strutturale, energetica e impiantistica è stata effettuata in stretta e reciproca collaborazione tra i diversi progettisti, consentendo di ottimizzare al meglio le prestazioni dell'edificio in relazione alle esigenze espresse dalla committenza. Ogni singolo aspetto è stato deciso e definito in questa fase, non consentendo il sistema costruttivo, se non per aspetti secondari, la possibilità di varianti in corso d'opera. Una volta definiti i diversi aspetti si è potuto procedere con la progettazione strutturale di

dettaglio che deve arrivare oltre al dimensionamento degli elementi strutturali e dei collegamenti, anche alla definizione di tutte le lavorazioni previste per la realizzazione dei disegni di produzione da fornire al produttore dei pannelli a strati incrociati.

Questo elevato livello di dettaglio in fase di progettazione, che deve necessariamente passare attraverso un ricontrollo della correttezza della progettazione e del futuro assemblaggio delle strutture mediante un modello tridimensionale, consente, attraverso la numerazione di ogni singolo elemento di controllare poi le operazioni di carico allo stabilimento di produzione e di scarico in cantiere e di montaggio della struttura.

Tutto questo lavoro preliminare in fase di progettazione ha consentito il montaggio della struttura portante in soli due giorni e mezzo.



Figura 7.3: Fasi di montaggio della struttura.

Un cambiamento dello stato dei luoghi quasi traumatico per la comunità locale quanto entusiasmante per gli attori coinvolti che finalmente potevano sospendere il lungo scetticismo della fase progettuale.

Chi si occupa di progettare manufatti conosce quel senso di smarrimento che accompagna i committenti nel tentativo di figurarsi o meglio far corrispondere le proprie aspettative a segni più o meno verosimili tracciati su carta. Sgomento che non li abbandona per

l'intero processo costruttivo e fino alla realizzazione delle finiture e dell'arredo, momento tipico della partecipazione dell'abitante. Pensate alle costruzioni in latero cemento, alla concezione media dei tempi di realizzazione, d'attesa, di programmazione e gestione economica. In meno di tre giorni, l'abitante poteva muoversi in una sorta di modello a scala reale.



Figura 7.4: Viste della struttura montata. Dopo soli due giorni e mezzo il committente può avere un'idea precisa dell'aspetto finale della sua abitazione.

Astrazioni concettuali tipiche del pensiero architettonico e del linguaggio che lo accompagna diventano fruibili fisicamente.

Ma non è tutto. Spesso nella letteratura prodotta in ambito bioecologico si legge delle famose seconda (abiti) e terza pelle (edifici). Qui, struttura eretta, si montano le differenti pelli di protezione e scambio. Le metafore organiche si potrebbero sprecare, o potrebbero consumare quel felice passaggio dall'astrazione al concreto raggiunto in pochi giorni. Sistemi di ventilazione naturali e forzate, respiro, cappotti termici, impermeabilizzazioni traspiranti, cablaggi di alimentazione, comandi come nervi, tutto a corpo aperto, tutto immediato, comprensibile. Soprattutto flessibile.

La copertura

La copertura ha richiesto dei tempi di realizzazione maggiori. È la componente architettonica con la maggior parte dei dispositivi integrati i cui elementi erano da realizzare completamente o da predisporre in un'unica fase. Il tetto contiene infatti, l'isolamento termico, ventilazione naturale, ventilazione forzata e relativi innesti dei tubi solari ad aria solare ad aria, alimentazione delle ventole, predisposizione di innesti e cablaggio dell'impianto solare fotovoltaico e termico, ed infine le canne di ventilazione e del camino. Particolare attenzione è stata posta alla posa della gronda ventilata parzialmente incassata, un unico elemento in acciaio inox, che ben si associa al manto di copertura in lastre di zinco titanio.



Figura 7.5: Stratigrafia della copertura e intercapedine di ventilazione

Hanno richiesto progettazione e montaggio specifici gli innesti dei tubi solari ad aria forzata, un plenum per il supporto dei tubi e per le ventole di aspirazione e spinta.

Il cappotto esterno

Più rapida del previsto è stata la posa in opera del cosiddetto cappotto esterno. Montando i listoni in abete ad interasse opportuno si sono ridotti i tempi e lo sfrido nella posa dei pannelli in fibra di legno ed in lana di legno mineralizzata.

L'intonaco di rivestimento con malta di calce idraulica composta da due velature con interposta rete portaintonaco in fibra di vetro, è stato realizzato senza l'ausilio di sesti riducendo tempi e spessori conferendo un carattere di morbida plasticità.



Figura 7.6: Posa in opera del cappotto esterno.

L'impiantistica

Relativamente semplice risulta la programmazione e successione dell'installazione dei vari impianti. L'opportuna realizzazione di intercapedini

porta impianti, sia a parete che a pavimento, ha semplificato la posa e la giustapposizione dei diversi cablaggi. In sequenza sono stati realizzati l'impianto elettrico e le reti dati, digitali e di sicurezza, l'impianto idrico ed infine l'impianto termico radiante a pavimento.

Come fonte di generazione termica per la pompa di calore si è scelta l'applicazione dello scambiatore orizzontale a terreno, uno dei primi sistemi adottati ma come tutti ancora in via di sperimentazione e

perfezionamento soprattutto dal punto di vista del dimensionamento e relative efficienze.

Il condizionamento termico

La ragguardevole prestazione energetica stimata per quest'edificio (14 kWh/mq anno, classificabile A+ sulla base del D.G. Regione Lombardia 8/5018) risulta essere il frutto della combinazione ed interazione di diverse scelte progettuali tutte volte al contenimento massimo dei consumi energetici ed al mantenimento di ottimali condizioni di confort termico al suo interno. I componenti edilizi dell'involucro dell'edificio, sia opachi che vetrati, sono stati progettati al fine di ottenere dei valori di trasmittanza termica particolarmente bassi, ricorrendo esclusivamente all'impiego di materiali isolanti naturali. Nel caso delle strutture vetrate la prestazione in termini di isolamento termico ottenuta risulta essere del 60% superiore rispetto al limite di legge (allegato C del D.Lgs. 311/06, valori per il Febbraio 2008).

Tutti gli altri componenti dell'involucro presentano in ogni caso prestazioni superiori per almeno il 15% rispetto ai limiti imposti. Notevole attenzione è stata dedicata inoltre allo sfruttamento degli apporti termici gratuiti, principalmente a quelli dovuti alla radiazione solare. Tali apporti, idoneamente computati, risultano coprire una fetta consistente dell'intero fabbisogno termico dell'edificio.

I due grafici riportati dimostrano che l'energia termica entrante nell'edificio, ed eventualmente accumulata nella struttura, riesce a ricoprire una buona quota dell'intero fabbisogno.

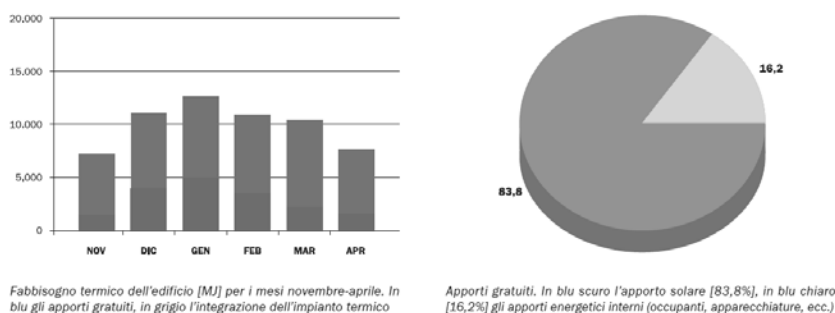


Figura 7.7: Grafici del fabbisogno termico dell'edificio nei mesi novembre-aprile e degli apporti gratuiti.

Al fine di ridurre al massimo il fabbisogno d'energia primaria la scelta del generatore di calore si è indirizzata su un sistema a pompa di calore, tecnologia di per se molto efficiente, accoppiata ad uno

scambiatore geotermico di tipo orizzontale. Il ricorso, ancora una volta, all'energia solare, stavolta sottoforma di calore (stagionale) immagazzinato nel terreno si è dimostrata, a conti fatti, la migliore possibilità di esaltazione delle prestazioni energetiche delle pompe di calore elettriche consentendo una "ecologica" fruizione del calore. Inoltre l'impianto progettato risulta indipendente da fonti energetiche tradizionali per oltre il 75% dell'energia utilizzata per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria. Il progetto, oltre all'impiego di una pompa di calore geotermica, prevede la realizzazione di pannelli radianti a pavimento alimentati a bassa temperatura (30°C).

Tale caratteristica dell'elemento radiante consente un'esaltazione dei valori di efficienza della pompa di calore (COP stimato >4). In centrale termica è stata prevista l'installazione di un doppio accumulo. Il primo avrà la funzione di "volano" per l'impianto a pavimento consentendo un funzionamento regolare (e quindi efficiente) della pompa di calore anche in presenza di rapide variazioni del carico termico.

Il secondo accumulo a temperatura più alta, con scambiatore solare, avrà la funzione di fornire acqua calda sanitaria sfruttando in misura prevalente il calore proveniente dall'impianto solare termico. Una caldaia a condensazione completa il sistema con funzione di Back-UP. Infine, è stato previsto il funzionamento del sistema anche in regime estivo. Anche in questo caso, le scelte progettuali fatte consentiranno il mantenimento del confort climatico estivo con un bassissimo impatto energetico. L'impiego di pannelli radianti a pavimento e di uno scambiatore geotermico, riducendo il temperature lift (differenza di temperatura fra la sezione condensante e quella evaporante di una pompa di calore) consente un impiego particolarmente efficiente della pompa di calore anche per la climatizzazione estiva.

Il ricorso ad unità di controllo di umidità e temperatura, di idonei algoritmi per il calcolo della temperatura operante del pavimento radiante, e l'installazione di due deumidificatori con batteria di post-raffreddamento direttamente alimentati dalla pompa di calore, annulla il rischio di formazione di condensa sul pavimento.

Sicurezza elettrica e disponibilità energetica di un edificio ecosostenibile in legno

Nell'epoca della certificazione energetica e del costruire secondo natura, l'impiantistica edile e le varie problematiche poste dalla sua realizzazione a regola d'arte, ritornano pian piano al centro dell'interesse di progettisti ed installatori. Rispetto al più o meno sofisticato involucro edilizio, nel passato i componenti degli impianti tecnologici, sono stati spesso relegati, ora a ingombranti accessori da

nascondere ora a vistosi elementi d'arredo che hanno però smarrito la propria funzione originaria.

Uno dei requisiti di cui oggi l'edilizia necessita è proprio far sì che l'impiantistica ritrovi, presso la committenza, prima ancora che presso i tecnici, la propria funzione originaria di sistema linfatico dell'edificio, nel rispetto delle nuove direttive sul risparmio energetico, ma, ancor prima, degli indispensabili principi volti a garantirne da sempre la sicurezza e l'affidabilità nel tempo.

Pur trattandosi di una piccola residenza unifamiliare, la realizzazione dell'edificio in oggetto è stata condotta come un caso studio del concetto di "sistema integrato edificio-impianti", ancora troppo poco diffuso a tutte le latitudini del nostro paese. Nel progetto considerato si è cercato di bilanciare, dunque, l'attenzione al dettaglio strutturale ed architettonico con quella rivolta a non meno importanti scelte di carattere impiantistico.

Con riferimento all'impianto elettrico di cui è stato dotato l'edificio, possiamo elencare alcune peculiarità che ne hanno reso la progettazione di un certo interesse, nel tentativo di garantire i requisiti richiesti in termini di sicurezza elettrica e disponibilità energetica. Innanzitutto occorre sottolineare che, essendo la struttura portante del fabbricato in legno, l'intero edificio, sulla base della definizione contenuta nella norma CEI 64-8/7 art.751.03.3, è stato classificato, al pari delle baite di montagna, come luogo a "maggior rischio in caso di incendio" o, con un acronimo con cui è familiarmente chiamato dagli addetti ai lavori, "luogo MA.R.C.IO." (di tipo B).

In seguito a tale classificazione, nella progettazione dell'impianto elettrico, oltre agli accorgimenti generali, sono stati indicati alcuni criteri specifici, richiamati dalla normativa specifica, volti ad aumentare la sicurezza e ridurre al minimo il rischio che l'impianto elettrico sia causa d'innesco o propagazione d'incendi. Tra gli altri, ad esempio, sono stati racchiusi in custodie aventi un grado di protezione non inferiore a IP4X, i componenti d'impianto installati sopra o dentro le strutture combustibili, che durante il loro funzionamento possono provocare archi o scintille tali da essere causa d'innesco d'incendio.

Altre prescrizioni hanno riguardato l'utilizzo di conduttori unipolari o multipolari del tipo non propagante l'incendio e la scelta di cavi di sezione opportuna, al fine di tenere conto di adeguati coefficienti di riduzione della portata. Vista la classificazione dei locali ed il particolare pregio dell'edificio considerato, per incrementare la sicurezza dei locali, si è scelto di adottare un impianto di rilevazione incendi e di prevedere l'impiego di 2 estintori. Tale pratica, nel contempo, ha consentito di limitare al minimo (qualche SPD) gli interventi necessari per la messa in sicurezza dell'edificio per ciò che

concerne il rischio dovuto al fulmine, la valutazione del quale è stata effettuata applicando le norme CEI 81-10/1-2-3-4.

Come già detto, l'edificio risulta provvisto di un impianto fotovoltaico integrato di potenza pari a 5,2 kWp, in attesa di essere connesso alla rete elettrica nazionale.

L'impianto, vista la latitudine del sito e le sue peculiarità meteorologiche, è stato dimensionato per coprire interamente le future esigenze energetiche dell'edificio che risultano, da una stima effettuata su base annuale, limitate a circa 7500 kWhel. Purtroppo in Italia ad oggi, per motivi di sicurezza in parte condivisibili, ai sistemi fotovoltaici "grid-connected" non è consentito di operare in assenza della rete (vedi: CEI 82-25; ENEL DK 5940). In definitiva, in caso di black-out, l'utente/produttore, pur in una assoluta giornata estiva, non può disporre di energia elettrica autoprodotta dal suo impianto fotovoltaico. Ciò a meno di dotarsi di un proprio sistema di accumulo di energia.

Si è infine adottato un gruppo di continuità (UPS), con funzione di soccorritore, di potenza pari a 1000 VA e 6 h di autonomia, atto a garantire la fornitura di energia elettrica ad alcuni carichi privilegiati dell'edificio. Tra essi, una sezione dell'illuminazione (con funzione anche di emergenza) e alcune utenze sensibili, personal computer e altri dispositivi elettronici. La protezione di tali dispositivi è sempre opportuna nei confronti di sbalzi di tensione e altre problematiche che possono affliggere la rete, ciò, in special modo, nel contesto rurale ove è sorto questo edificio ecosostenibile.

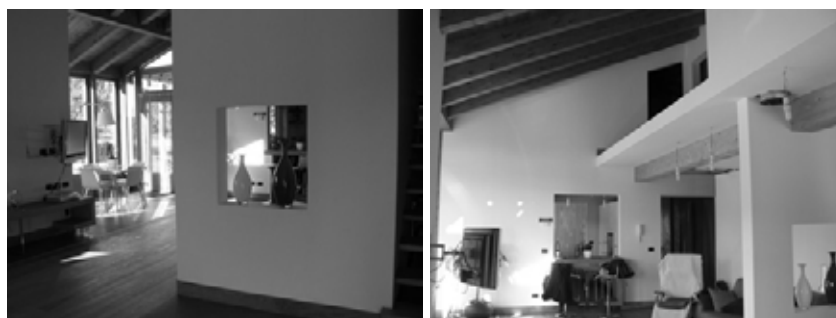


Figura 7.8: Edificio completato dall'interno.



Figura 7.9: Edificio completato dall'esterno.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A.A.V.V. – “Linee Guida per l’edilizia in legno in Toscana” – A cura della Direzione Regionale della Presidenza della Regione Toscana– Settore Edilizia Sostenibile – Firenze, 2009



un progetto di per

MADEexpo
Milano Architettura Design Edilizia

