SARDEGNA RICERCHE

Sardegna FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I

“RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE”

Azione 1.1.4 Sostegno alle attività collaborative di R&S per lo sviluppo di nuove tecnologie sostenibili, di nuovi prodotti e servizi

Progetto Cluster Top Down
“PLES”
PRODOTTI LOCALI PER L’EDILIZIA SOSTENIBILE

SVILUPPO DI SOLUZIONI COSTRUTTIVE ECOSOSTENIBILI
PER PARETI E SOLAI ENERGETICAMENTE EFFICIENTI

LINEE GUIDA
PROGETTAZIONE DELLE STRATIGRAFIE

UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

POR FESR SARDEGNA 2014-2020

Università degli Studi di Cagliari
Dipartimento di Ingegneria Civile
Ambientale e Architettura

SARDEGNA RICERCHE

PROGETTAZIONE DI PARETI E SOLAI MULTISTRATO A BASE DI MATERIALI LOCALI

SOMMARIO

1. Premessa ... 3
2. Obiettivi ... 3
3. Contesto legislativo di riferimento ... 3
3.1 Legislazione di riferimento per gli aspetti strutturali ... 3
3.2 Legislazione parte energetica ... 4
3.3 Legislazione parte acustica ... 4
3.4 Legislazione parte termo-igrometrica ... 5
3.5 Legislazione parte ambientale ... 5
3.6 Legislazione parte antincendio – resistenza al fuoco ... 5
3.6.1 Norme procedurali ... 6
3.6.2 Norme orizzontali e Principi generali ... 6
4. Stratigrafie ... 6
4.1 Norme tecniche parte meccanica-strutturale ... 7
4.1.1 Muratura ... 7
4.1.2 Cross Laminated Timber ... 8
4.2 Norme tecniche parte energetica - ambientale ... 12
4.2.1 Norma UNI EN ISO 6946 - Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo ... 12
4.2.2 Norma UNI EN ISO 13786 – Caratteristiche termiche dinamiche –Metodi di Calcolo ... 13
4.3 Norme tecniche parte acustica ... 14
4.4 Norme tecniche parte termo-igrometrica ... 14
4.5 Diagramma di flusso ... 14

1. PREMESSA

L'obiettivo delle presenti linee guida è quello di fornire indicazioni di carattere tecnico-scientifico a supporto dei produttori e dei fruitori per la progettazione e la realizzazione delle stratigrafie di componenti edilizi a base di materiali locali sardi. Le presenti linee guida richiamano il contesto legislativo e normativo vigente al fine di fornire agli utilizzatori finali un quadro di riferimento sulle leggi e sulle norme tecniche da applicare per valutare e dichiarare le prestazioni dei propri prodotti e/o sistemi costruttivi, e di semplificare e standardizzare la definizione di tutte le grandezze fisiche che condizionano il processo decisionale di scelta legato alla progettazione e realizzazione degli interventi edilizi, siano essi di nuova costruzione o, cosa molto più frequente, di ristrutturazione e recupero del patrimonio edilizio esistente.

Le attività svolte all'interno del progetto di ricerca PLES (Prodotti Locali per L'edilizia Sostenibile), e i risultati prodotti dal progetto, sono rivolte a tutte le aziende e alle imprese operanti sul territorio Regionale.

L'impostazione delle attività è fondata sulla condivisione di conoscenze, metodi, competenze, al fine di costruire un ambiente propositivo e di confronto, presupposto indispensabile per arrivare alla sintesi di una proposta tecnica valida, avente come risultato la definizione del disciplinare e dell'apposito piano di lavoro.

Il presente documento costituisce comunque una prima release, che potrà essere aggiornata/modificata in base agli sviluppi della materia, nonché di future esigenze ed opportunità.

2. OBIETTIVI

Nell'impostazione del presente documento gli obiettivi perseguiti sono i seguenti:

- soddisfacimento degli standard internazionali e nazionali;
- in caso di assenza di standard, rispetto delle prescrizioni internazionali o di riferimenti bibliografici in materia;
- "flessibilità" sufficiente a adeguarsi alle variazioni prevedibili;
- "applicabilità", nella pratica quotidiana, da parte degli operatori;
- "identificabilità", nel senso che siano presenti proprietà fisico-meccaniche che identifichino le caratteristiche specifiche del prodotto.

3. CONTESTO LEGISLATIVO DI RIFERIMENTO

3.1 Legislazione di riferimento per gli aspetti strutturali

Per quanto riguarda gli aspetti strutturali, la normativa di riferimento essenziale è costituita dall'Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 17.01.2018 – G.U. 20.02.2018 – Serie Generale, N. 42, Suppl. Ord. n. 8).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) definiscono i principi per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, stabilendo i requisiti essenziali di resistenza meccanica, stabilità, robustezza (anche in caso di azioni eccezionali come sisma e incendio), e di durabilità loro richiesti in termini di prestazioni minime da garantire. Esse infatti forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti da costruzione, e trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Circa le indicazioni applicative per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, esse sono presenti nelle specifiche sezioni delle Norme, dove sono anche indicati i documenti tecnici di riferimento, compresi gli Eurocodici (con le relative Appendici Nazionali) e le normative europee di prodotto (norme UNI EN), utili al progettista come valido supporto applicativo per la definizione delle prestazioni che le opere devono garantire.

Le NTC raggruppano in un unico riferimento normativo i principi generali per la progettazione di tutte le costruzioni civili e industriali (in calcestruzzo armato ordinario e precompresso, in muratura, in acciaio, in legno), dei ponti (sia stradali che ferroviari), delle dighe e dei sistemi di ritenuta delle acque, delle opere geotecniche e di sostegno, comprese le opere in sotterraneo, e forniscono, ove necessario, ulteriori riferimenti normativi per aspetti di dettaglio non sufficientemente sviluppati nel testo.

Per quanto riguarda invece i materiali da costruzione, il Cap. 11 delle NTC fornisce le informazioni per la produzione, la qualificazione, la certificazione e i controlli durante la posa in opera di:

- calcestruzzo ordinario
- calcestruzzo precompresso
- acciaio per c.a.
- acciaio da carpenteria
- componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p.
- muratura portante
- malte per muratura
- materiali e prodotti a base di legno
- dispositivi antisismici
- apparecchi d'appoggio
- ancoranti strutturali e giunti di dilatazione
- sistemi di precompressione a cavi post-tesi e tiranti di ancoraggio.

Un capitolo a parte (Cap. 8) è dedicato alle costruzioni esistenti, che necessitano di un approccio completamente differente rispetto alla progettazione delle nuove costruzioni, e hanno bisogno di una valutazione ad hoc della sicurezza strutturale e delle prestazioni dei materiali.

Un altro Capitolo è infine dedicato al collaudo (Cap. 9).

La circolare applicativa delle NTC (Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 21 gennaio 2019, G. U. 11.2.2019, Serie Generale n. 35 - Suppl. Ord. n. 5) fornisce ulteriori spiegazioni e esempi per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni.

3.2 Legislazione parte energetica

L'applicazione delle procedure e delle metodologie di calcolo riportate nelle norme richiamate, risultano alla data della stesura del presente documento obbligatorie secondo le leggi, le delibere e i decreti di seguito riportati che recepiscono la normativa europea EPBD parte 1-2 e 3:

- D.Lgs. 192 del 2005 allegato M cosi come modificato e integrato dal D.lgs 311 del 2006 e dai successivi recepimenti,
- D.M. "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici", comunemente detto D.M. "Requisiti Minimi", in vigore dal 01/10/2015,
- Linee guida nazionali sulla certificazione energetica del 26/06/2015,
- D.L. 63/2013 convertito nella legge 90/2013.

3.3 Legislazione parte acustica

Per la parte acustica la principale legislazione di riferimento nazionale e regionale è rappresentata da:

- Legge quadro 447 del 1995 sull'inquinamento acustico,
- D.P.C.M. 5/12/97 sui requisisti acustici passivi in vigore dal febbraio 1998,
- Delibera RAS 62/9 del 2008 – Linee guida regionali in materia di acustica,
- Delibera RAS 18/19 del 2016 – modifica alle linee guida regionali in materia di acustica.

3.4 Legislazione parte termo-igrometrica

Secondo il D.M. "Requisiti Minimi" del 26/06/2015, decreto attuativo del D.lgs. 192/2005 e s.m.i., in fase di progettazione delle nuove costruzioni, ampliamento o ristrutturazione di edifici esistenti bisogna procedere in fase di progetto all'analisi della condensa superficiale ed interstiziale.

L'analisi, da eseguirsi, così come previsto dal decreto, sulla base della norma UNI EN 13788, deve verificare:

- l'assenza di condensazioni superficiali per tutti i dodici mesi dell'anno,
- l'assenza di condensazioni interstiziali o l'evaporazione nell'arco dei dodici mesi della condensa interstiziale formatasi; questa, se rievapora completamente, è ammessa a condizione che la quantità d'acqua condensata sia inferiore al massimo quantitativo d'acqua ammissibile per il materiale costituente lo strato in cui la condensa si forma.

3.5 Legislazione parte ambientale

La principale normativa di riferimento per quanto riguarda gli aspetti ambientali si basa sul D.Lgs. 152 del 2016 (Codice dell'Ambiente) e su quanto previsto dai CAM - Criteri Ambientali Minimi - per la pare inerente le costruzioni.

3.6 Legislazione parte antincendio - resistenza al fuoco

Facendo riferimento ai vari D.M. che determinano le linee guida italiane in conformità con le normative vigenti a livello europeo, si sviluppa un esempio pratico delle necessarie certificazioni che sono previste in ambito progettuale edilizio, in tutte le sue parti e componenti, definendo la resistenza al fuoco una delle fondamentali strategie di protezione da perseguire per garantire un adeguato livello di sicurezza della costruzione in condizioni di incendio.

Essa riguarda la capacità portante in caso di incendio, per una struttura, per una parte della struttura o per un elemento strutturale, nonché la capacità di compartimentazione rispetto all'incendio per gli elementi di separazione sia strutturali, come muri e solai, sia non strutturali, come porte e tramezzi.

- Il D.M. del 16/02/2007 tratta la classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione,
- D.M. del 09/03/2007 tratta le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Con la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale del 29 marzo 2007 di entrambi i decreti, vengono abrogate la C.M. n. 91 del 14 settembre 1961 e il D.M. n. 60 del 13 marzo 1986.

Il decreto del 16 febbraio 2007 si applica ai prodotti e agli elementi costruttivi per i quali è prescritto il requisito di resistenza al fuoco ai fini della sicurezza in caso di incendio delle opere in cui sono inseriti. Esso indica i criteri secondo cui classificare la resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi. Le prestazioni di resistenza al fuoco possono essere determinate in base ai risultati di prove, calcoli e confronti con tabelle. Si riporta di seguito la lista dei principali riferimenti normativi da rispettare per la parte antincendio:

- D. Lgs. 81/2008 - Tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro,
- D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151 - Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi,

- D. Lgs. 139/2016 - Riassetto delle disposizioni relative alle funzioni ed ai compiti del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco,
- Codice di Prevenzione Incendi di cui al D.M. 3 agosto 2015,
- D.M. 12 aprile 2019 - Obbligatorietà dell'utilizzo del Codice per la progettazione delle attività tradizionalmente "non normate".

3.6.1 Norme procedurali

- D. Lgs. 139/06
- D.P.R.151/2011
- D.M. 07/08/2012
- D.M. 09/05/2007(FSE)
- D.M. 02/03/2012.

3.6.2 Norme orizzontali e Principi generali

- Termini e definizioni: D.M. 30/11/83
- Resistenza al fuoco delle costruzioni: D.M. 09/03/2007
- Criteri generali di sicurezza antincendi: D.M.10/03/1998
- Codice di Prevenzione Incendi: D.M. 03/08/2015
- Codice di Prevenzione Incendi: D.M. 12/04/2019
- Resistenza al fuoco: D.M. 16/02/2007
- Reazione al fuoco: D.M. 10/03/2005, D.M. 15/03/2005, D.M. 31/03/2003, D.M. 26/07/84, D.M. 06/03/92, D.M. 26/06/84, D.M.14/01/85
- Serramenti resistenti al fuoco: D.M. 21/06/2004
- Dispositivi di apertura: D.M. 03/11/04
- Barriere architettoniche: D.M. 236/89, D.P.R. 503/96, Circ. n.4 del 01/03/02.

4. STRATIGRAFIE

Nell'ambito del progetto PLES è stato previsto lo studio di alcuni prototipi di stratigrafie di pareti verticali e solai orizzontali realizzati impiegando per gli strati i vari materiali e prodotti locali analizzati, al fine di ottenere un elemento portante con caratteristiche termo-igrometriche e acustiche prestabilite e definire criteri di scelta della combinazione degli strati in modo da ottimizzarne le prestazioni. Le stratigrafie studiate sono composte con i) blocchi di laterizio o calcestruzzo, ii) Cross Laminated Timber (CLT) di Pino Marittimo sardo come strati portanti; i) lana di pecora, ii) sughero, iii) terra cruda come strati isolanti; i) intonaco a base di calce e ii) tessuto pregiato artigianale come strati di finitura.

Di seguito si riportano le principali indicazioni sui criteri da adottare per la progettazione di ciascuno strato al fine di ottenere le prestazioni desiderate.

4.1 Norme tecniche parte meccanica-strutturale

4.1.1 Muratura

Come già descritto al p. 2.1, la normativa di base per il dimensionamento delle strutture in muratura è il D.M. 17.01.2018. Esso prevede condizioni di progettazione e verifica specifiche a seconda del livello di sismicità in cui l'edificio si inserisce. Essendo la Sardegna una regione a bassa sismicità ($a_gS \leq 0{,}075g$ allo SLV), ci si riferirà nel proseguo solamente a questa condizione.

L'edificio a muratura portante deve essere concepito come una struttura tridimensionale. I sistemi resistenti di pareti di muratura, gli orizzontamenti e le fondazioni devono essere collegati tra di loro in modo da resistere alle azioni verticali e orizzontali. I pannelli murari, di muratura non armata, sono considerati resistenti anche alle azioni orizzontali quando hanno una lunghezza non inferiore a 0,3 volte l'altezza di interpiano; i pannelli murari svolgono funzione portante, quando sono sollecitati prevalentemente da azioni verticali, e svolgono funzione di controvento, quando sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali (p.4.5.4 NTC).

L'organizzazione dell'intera struttura e l'interazione ed il collegamento tra le sue parti devono essere tali da assicurare appropriata resistenza e stabilità, ed un comportamento d'insieme "scatolare". Per garantire un comportamento scatolare, muri ed orizzontamenti devono essere opportunamente collegati fra loro. Tutte le pareti devono essere collegate al livello dei solai mediante cordoli di piano di calcestruzzo armato e, tra di loro, mediante ammorsamenti lungo le intersezioni verticali.

Le piante delle costruzioni devono essere quanto più possibile compatte e simmetriche rispetto ai due assi ortogonali. Le pareti strutturali, al lordo delle aperture, devono avere continuità in elevazione fino alla fondazione, evitando pareti in falso. Le strutture costituenti orizzontamenti e coperture non devono essere spingenti. Eventuali spinte orizzontali, valutate tenendo conto dell'azione sismica, devono essere assorbite per mezzo di idonei elementi strutturali. I solai devono assolvere funzione di ripartizione delle azioni orizzontali tra le pareti strutturali e di vincolo nei confronti delle azioni fuori del piano delle pareti, pertanto devono essere ben collegati ai muri e garantire un adeguato funzionamento a diaframma. La distanza massima tra due solai successivi non deve essere superiore a 5 m (p. 7.8.1.4 NTC).

Il collegamento fra la fondazione e la struttura in elevazione è generalmente realizzato mediante cordolo in calcestruzzo armato disposto alla base di tutte le murature verticali resistenti. È possibile realizzare la prima elevazione con pareti di calcestruzzo armato; in tal caso la disposizione delle fondazioni e delle murature sovrastanti deve essere tale da garantire un adeguato centraggio dei carichi trasmessi alle pareti della prima elevazione ed alla fondazione.

Per le costruzioni semplici il numero di piani non può essere superiore a 3 per le costruzioni in muratura ordinaria ed a 4 per costruzioni in muratura armata (p. 7.8.1.9 NTC).

Ad ogni piano deve essere realizzato un cordolo continuo all'intersezione tra solai e pareti.

I cordoli devono avere altezza minima pari all'altezza del solaio e larghezza almeno pari a quella del muro; è consentito un arretramento massimo non superiore a 60 mm e a 0,25t dal filo esterno per murature di spessore t fino a 300 mm. L'area dell'armatura corrente non deve essere inferiore a 8 cm², le staffe devono avere diametro non inferiore a 6 mm ed interasse non superiore a 250 mm. Travi metalliche o prefabbricate costituenti i solai devono essere prolungate nel cordolo per almeno la metà della sua larghezza e comunque per non meno di 120 mm ed adeguatamente ancorate ad esso (p.7.8.6.1. NTC).

Lo spessore dei muri portanti non può essere inferiore ai seguenti valori (p. 4.5.6.2 e Tab. 7.8.I NTC):

- muratura in elementi resistenti artificiali pieni 150 mm
- muratura in elementi resistenti artificiali semipieni 200 mm
- muratura in elementi resistenti artificiali forati 240 mm
- muratura di pietra squadrata 240 mm

- muratura di pietra listata 400 mm
- muratura di pietra non squadrata 500 mm.

La snellezza convenzionale della parete, $\lambda = h_0/t$, essendo t lo spessore della parete al netto dell'intonaco, h_0 l'altezza di libera inflessione della parete (valutata in base alle condizioni di vincolo ai bordi), non deve risultare superiore a 20.

L'uso di giunti verticali non riempiti è consentito esclusivamente per edifici caratterizzati, allo SLV, da $a_gS \leq 0{,}075g$, costituiti da un numero di piani in muratura da quota campagna non maggiore di due e altezza massima, misurata in asse allo spessore della muratura, di 7 m.

L'uso di giunti sottili (spessore compreso tra 0.5 mm e 3 mm) è consentito esclusivamente per edifici caratterizzati da un numero di piani in muratura da quota campagna non superiore a 3 e con altezza massima, misurata in asse allo spessore della muratura, non superiore a 10,5 m.

Le proprietà fondamentali in base alle quali si classifica una muratura sono la resistenza caratteristica a compressione f_k, la resistenza caratteristica a taglio in assenza di azione assiale f_{vk0}, il modulo di elasticità normale secante E, il modulo di elasticità tangenziale secante G.

Le resistenze caratteristiche f_k e f_{vk0} sono determinate o per via sperimentale su campioni di muro o, con alcune limitazioni, in funzione delle proprietà dei componenti. Le modalità per determinare le resistenze caratteristiche sono indicate nel p 11.10.3, dove sono anche riportate le modalità per la valutazione dei moduli di elasticità.

Gli elementi per muratura in laterizio e in calcestruzzo sono soggetti a marcatura CE secondo un sistema di attestazione 2^+ ai sensi delle norme europee armonizzate della serie UNI EN 771. In ogni caso i valori delle caratteristiche meccaniche utilizzate per le verifiche devono essere indicati nel progetto delle opere.

Per quanto riguarda invece la malta di allettamento per la muratura ordinaria, essa deve avere resistenza media non inferiore a 5 MPa e anch'essa è soggetta a marcatura CE secondo la norma armonizzata UNI EN 998-2. Per le malte a prestazione garantita è previsto un sistema di attestazione 2^+, mentre per le malte a composizione prescritta è previsto un sistema di attestazione 4.

Il Direttore dei Lavori è tenuto a far eseguire ulteriori prove di accettazione sugli elementi per muratura portante pervenuti in cantiere e per le malte prodotte in cantiere secondo le metodologie di prova indicate nelle citate norme europee.

Le prove di accettazione su materiali sono obbligatorie per i soli elementi che costituiscono muratura portante e per le malte prodotte in cantiere, e devono essere eseguite e certificate presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

4.1.2 Cross Laminated Timber

Il Cross Laminated Timber (CLT o X-Lam in ambito commerciale) è una tecnologia innovativa, sviluppata in Austria e in Germania negli anni '90, per la realizzazione di pannelli portanti in legno. Di norma, il CLT è prodotto con legno di conifera, prevalentemente di abete (abete rosso). Nell'ambito del progetto PLES invece, è stato utilizzato un CLT di Pino Marittimo sardo, specie legnosa locale ancora mai utilizzata a fini strutturali, caratterizzata da livello di difettosità intrinseca medio-alto, la quale, nell'ambito e del presente progetto, e di altri precedenti che ne hanno avviato lo studio per l'impiego strutturale, ha dimostrato buone potenzialità.

La Normativa di riferimento per la progettazione e la realizzazione dei pannelli in CLT, e dunque per le costruzioni in CLT, è ancora in evoluzione, e non esiste una normativa unica di riferimento. Allo stato attuale si può fare utile riferimento alle seguenti norme:

- UNI EN 16351 - Timber structures - Cross laminated timber - Requirements. Essa fornisce indicazioni specifiche riguardo la produzione e la certificazione dei pannelli CLT da impiegarsi nelle costruzioni civili e industriali e nei ponti

- CNR-DT 206 R1 2018 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno. Essa fornisce un contributo tecnico di supporto agli operatori impegnati nelle varie fasi della costruzione di strutture di legno
- DM. 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- UNI EN 1995 - 1-1 - Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno – Regole comuni e regole per gli Edifici
- UNI EN 1995 - 1-2 - Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- UNI EN 1995 - 1-2 - Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 2: Ponti.

L'utilizzo dei pannelli CLT per la realizzazione di pareti e solai dà origine a strutture di tipo scatolare con molteplici vantaggi di ordine strutturale:

- come parete assume la funzione di lastra, ed è in grado di assorbire i carichi verticali e contrastare le sollecitazioni del sisma e del vento offrendo resistenza e rigidezza fuori dal piano;
- come solaio assume la funzione di piastra e, grazie alla sua resistenza flessionale e a taglio nelle due direzioni del suo piano, è in grado di portare i carichi perpendicolari al piano stesso.

Il CLT è costituito da strati incrociati (incollati) di tavole di legno massiccio. Gli strati sono sovrapposti secondo un angolo di 90°, realizzando così un elemento strutturale bidimensionale (parete o solaio) dalle ottime prestazioni meccaniche.

In configurazioni speciali, strati consecutivi possono essere posizionati nella stessa direzione, dando un doppio strato (ad esempio doppio strato longitudinale sulle facce esterne o doppio strato aggiuntivo al centro del pannello) per ottenere specifiche capacità strutturali.

I pannelli CLT utilizzati per le strutture prefabbricate di pareti e solai offrono molti vantaggi. Il processo di laminazione incrociata fornisce una migliore stabilità dimensionale al prodotto che consente la prefabbricazione di pavimenti larghi e lunghi e pareti alte a un piano. Inoltre, la laminazione incrociata fornisce livelli relativamente alti, sia nel piano che fuori dal piano, di resistenza e rigidità in entrambe le direzioni, conferendo al sistema una capacità confrontabile con un sistema a lastra in c.a.

I prodotti in CLT sono generalmente fabbricati da tre a sette strati e in alcuni casi anche di più.

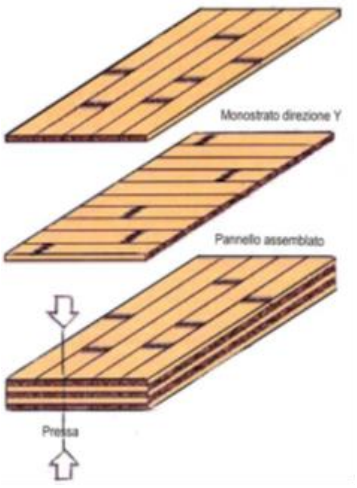
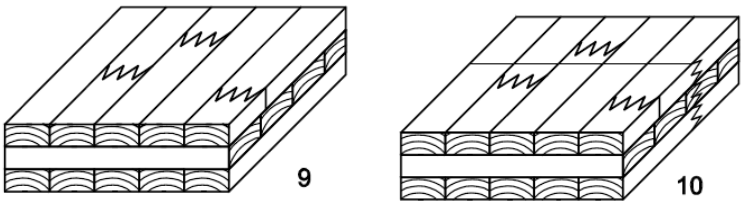


Fig.1 - Da "Il materiale XLAM. Caratteristiche e prestazioni" - Andrea Bernasconi

Lo spessore delle singole tavole può variare da 10 mm a 45 mm (ad eccezione dei pannelli a tre strati in cui lo strato centrale può avere uno spessore finito fino a 60 mm). Inoltre, per i pannelli CLT curvilinei lo spessore massimo finito t_l delle lamelle (tavole dello strato) è condizionato anche dal raggio r di curvatura della lamella di raggio inferiore, e dalla resistenza caratteristica a flessione dei giunti terminali. Le tavole sono giuntate con giunti a dita (o a pettine) (Fig. 2a) in direzione longitudinale e la distanza tra due giunti a dita consecutivi di una stessa lamella non può essere inferiore a 5 volte la larghezza della lamella stessa. Sono ammessi anche giunti a dita che interessano l'intero spessore del pannello (Fig. 2b), ma devono essere appositamente verificati con prove di resistenza ad hoc secondo le prescrizioni della EN 16351. La resistenza a trazione dei giunti a dita in laminazione non può essere inferiore alla resistenza a trazione delle tavole.

Inoltre, al fine di ridurre la formazione di fenomeni fessurativi, in fase di produzione del CLT è possibile effettuare delle incisioni nelle lamelle. Le incisioni possono avere fino ad un massimo di profondità del 90% dello spessore della lamella e una larghezza massima di 4 mm. [p. 5.2.2.3. – 5.2.2.4. UNI EN 16351] (Fig. 3). Lo spessore dei singoli strati non deve discostarsi di più di ± 1 mm dallo spessore nominale.



a) b)

Fig. 2 - [EN 16351]

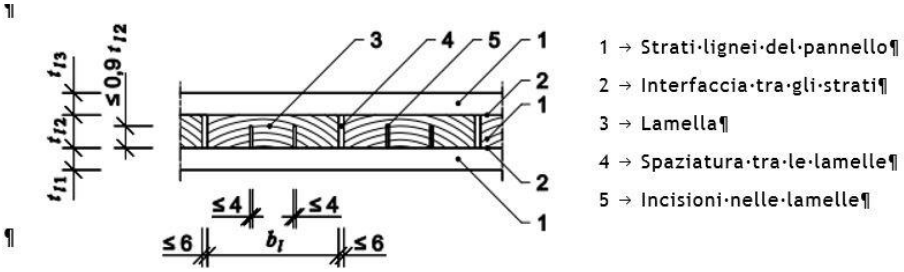


Fig. 3 - [EN 16351]

La larghezza del pannello può variare tra 40 e a 300 mm, mentre lo spessore complessivo del pannello, qualsiasi sia il numero degli strati, non può eccedere i 500 mm [p. 5.2.2.2 UNI EN 16351). Lo spessore della sezione trasversale del pannello non deve differire rispetto allo spessore nominale del maggiore tra il 2% dello spessore nominale oppure ± 2 mm.

Le dimensioni commerciali dei pannelli variano da produttore a produttore: le larghezze tipiche sono 0.6 m, 1.2 m e 3 m (potrebbe essere fino a 4 ~ 5 m in casi particolari) mentre la lunghezza può arrivare fino a 18 m; lo spessore non supera in genere i 400 mm. Normative sui trasporti possono imporre limitazioni alle dimensioni dei pannelli CLT.

Ogni strato del pannello di CLT deve essere costituito da lamelle appartenenti ad un'unica classe di resistenza tra quelle previste nella EN 338 (oppure una resistenza specifica dichiarata dal produttore). Le lamelle di uno strato possono comunque essere di specie lignee miste, a condizione che tali specie abbiano proprietà tecniche simili, soprattutto per quanto riguarda il rigonfiamento e il ritiro.

I pannelli CLT sono ammessi all'uso nelle classi di servizio 1 e 2 (Tabb. 4.4.II e 4.4.IV – NTC e Tab. 7-2 CNR-DT206-R1), cioè in condizioni climatiche per cui l'umidità del materiale è in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi rispettivamente il 65%, e l'85% se non per poche settimane all'anno. È escluso sia il contatto diretto con l'acqua sia l'esposizione diretta alle intemperie.

L'edificio in CLT può essere progettato sia in Classe di Duttilità "A" (alta), che in Classe di Duttilità "B" (bassa), a seconda che vengano rispettate le prescrizioni qui di seguito riepilogate (CNR-DT206-R1 – p. 10.3):

- Per la classe di Duttilità "A":
  1. nei collegamenti del tipo legno-legno o legno-acciaio con elementi metallici a gambo cilindrico (spinotti, bulloni, chiodi e viti) lo spessore delle membrature connesse è non minore di 10 d, essendo d il diametro dell'elemento di collegamento, comunque non maggiore di 12 mm;
  2. il meccanismo di rottura dei collegamenti di cui in (1) è di tipo duttile caratterizzato dalla formazione di due cerniere plastiche negli elementi metallici di connessione, corrispondente per connessioni legno-legno alle modalità di rottura f, nel caso di singolo piano di taglio, e j, k per quelle a due piani di taglio, e per connessioni legno-acciaio alle modalità di rottura e, nel caso di singolo piano di taglio, e h, k, m per quelle a due piani di taglio (Fig. 8.12 CNR -DT 206-R1);
  3. le pareti aventi rapporto l/h (lunghezza/altezza interpiano) > 1 vanno suddivise in sotto-pannelli aventi ciascuno lunghezza compresa tra 0.25 h ed h e connessi tra loro lungo i giunti verticali con elementi metallici a gambo cilindrico (viti o chiodi) aventi un meccanismo di rottura duttile con formazione anche di una sola cerniera plastica nel connettore metallico.
- Per la classe di Duttilità "B":
  1. nei collegamenti del tipo legno-legno o legno-acciaio con elementi metallici a gambo cilindrico (spinotti, bulloni, chiodi e viti) lo spessore delle membrature connesse è non minore di 8 d, essendo d il diametro dell'elemento di collegamento, comunque non maggiore di 12 mm;
  2. il meccanismo di rottura dei collegamenti di cui in (1) è di tipo duttile caratterizzato dalla formazione di almeno una cerniera plastica negli elementi metallici di connessione, corrispondente per connessioni legno-legno alle modalità di rottura d, e, f, nel caso di singolo piano di taglio, e j, k per quelle a due piani di taglio, e per connessioni legno-acciaio alle modalità di rottura b, d, e, nel caso di singolo piano di taglio, e g, h, k, m per quelle a due piani di taglio (Fig. 8.12 CNR -DT 206-R1);
  3. non si verificano le rotture fragili indicate al punto 8.3.7.1.1 delle CNR -DT 206-R1.

La progettazione dissipativa richiede comunque il rispetto del criterio di gerarchia delle resistenze, per il quale la resistenza di progetto (elastica) delle parti fragili deve sempre essere maggiore della resistenza (plastica) delle parti duttili opportunamente incrementata mediante un fattore di sovra-resistenza. Tale fattore è pari al minimo a 1.6 per strutture a telaio pesante a nodi rigidi (resistenti a momento) o a mensole verticali continue a tutta altezza e a 1.3 per tutte le altre tipologie strutturali, per la classe di duttilità "A", e a 1.4 ed 1.1 rispettivamente, per la classe di duttilità "B".

L'analisi strutturale degli edifici in CLT (p. 10.4 CNR-DT 206-R1) può essere svolta adottando metodi di calcolo di tipo sia lineare che non-lineare, così come previsto nelle vigenti norme nazionali. Il modello strutturale, per rappresentare al meglio il comportamento della struttura, terrà conto, ove pertinente, della deformabilità delle unioni tra i vari elementi lignei, mediante la definizione di un'opportuna corrispondente rigidezza, valutata facendo riferimento, nel caso di analisi lineari, al modulo di scorrimento K_{ser}. Particolare attenzione va posta nel definire la deformabilità dei collegamenti tra pannelli di piani contigui o tra pannelli e fondazione, che è opportuno valutare considerando in compressione la deformabilità del legno parallela o ortogonale alle fibre, a seconda dei casi, e in trazione la deformabilità degli elementi in acciaio.

In relazione alla disposizione in pianta degli elementi sismo-resistenti si possono impiegare modelli piani o spaziali, bidimensionali (tipo lastra e/o piastra) o modelli semplificati a telaio equivalente (con elementi tipo trave). In tutti i casi si deve porre particolare attenzione alla modellazione della connessione tra i pannelli.

La resistenza di progetto degli elementi in CLT andrà valutata a partire dai valori caratteristici (p.4.4.6. NTC) con riferimento combinato alla classe di servizio e alla classe di durata del carico e sarà la stessa classe di resistenza del

legno di cui è costituito il pannello. Allo stato attuale si fa riferimento alle classi di resistenza del legno massiccio per usi strutturali e quindi alle indicazioni della norma UNI EN 338: Structural timber — Strength classes.

I pannelli in CLT devono seguire lo stesso processo di classificazione richiesto alle tavole per uso strutturale, e che può avvenire in modo visivo o meccanico. Il vantaggio della produzione del CLT è che mediante l'utilizzo dei giunti a dita è possibile eliminare le parti di qualità troppo scadenti tramite troncatura dell'elemento e migliorare la resa della classificazione. Ciascun produttore segue proprie procedure di classificazione e attribuisce la classe di resistenza al proprio prodotto secondo una regola prestabilita che deve essere autorizzata e approvata dell'ente certificatore.

Il pannello CLT per essere commercializzato e impiegato per uso strutturale, così come tutti i prodotti delle costruzioni, ai sensi del cap. 11 delle NTC deve essere univocamente identificato a cura del fabbricante, qualificato sotto la responsabilità del fabbricante, e accettato dal Direttore dei Lavori, mediante acquisizione e verifica della documentazione di identificazione e qualificazione, nonché mediante eventuali prove di accettazione. Le procedure di qualificazione per il CLT sono indicate nella Norma UNI EN 16351, che prevede un sistema di attestazione 1 a partire da tavole di legno massiccio a loro volta qualificate secondo la procedura prevista nella norma UNI EN 14081-1 (sistema 2+). I prodotti attualmente in commercio, per essere commercializzati, hanno ottenuto dall'autorità competente l'Attestato di Valutazione Tecnica Europea (ETA) e nel caso dei prodotti commercializzati in Italia il Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego (CIT), rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale.

4.2 Norme tecniche parte energetica - ambientale

In campo energetico la norma base è la UNI EN ISO 13790 del 2008 come norma europea e il suo recepimento nazionale rappresentato dalle norme della serie UNI TS 11300. Inoltre, è possibile fare riferimento anche a pubblicazioni scientifiche internazionali. Di seguito sono riportate le parti principali sia delle norme sia delle pubblicazioni più utilizzate nell'ambito del presente progetto.

4.2.1 Norma UNI EN ISO 6946 - Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo

Tale norma riporta il metodo unificato per il calcolo della trasmittanza dei componenti edilizi. La norma calcola la trasmittanza come l'inverso della resistenza termica totale. Al suo interno sono inoltre presenti equazioni per il calcolo delle componenti delle resistenze liminari. Si riporta di seguito la tabella con i differenti valori delle resistenze liminari in funzione della direzione del flusso termico e degli ambienti che rappresentano le condizioni al contorno.

Conventional surface resistances

Surface resistance $m^2 \times K/W$	Direction of heat flow		
	upwards	horizontal	downwards
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Note 1 The values given are design values. For the purposes of declaration of the thermal transmittance of components and other cases where values independent of heat flow direction are required, or when the heat flow direction is liable to vary, it is advisable that the values for horizontal heat flow be used.

Note 2 The surface resistances apply to surfaces in contact with air. No surface resistance applies to surfaces in contact with another material.

La norma riporta inoltre metodi di calcolo per componenti non omogenei e non regolari come quelli a sezione variabile.

4.2.2 Norma UNI EN ISO 13786 – Caratteristiche termiche dinamiche –Metodi di Calcolo

Tale norma riporta una procedura per calcolare i parametri dinamici dei sistemi costruttivi. Al suo interno sono definite diverse grandezze, fra le quali la trasmittanza termica periodica Y12. Il modulo di tale trasmittanza Yie è il valore numerico da confrontare con i limiti massimi imposti per legge dal D.P.R. 59/09 per i nuovi componenti edilizi o per quelli ristrutturati. All'interno della norma sono definiti:

- profondità di penetrazione periodica

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

- rapporto tra lo spessore dello strato e la profondità di penetrazione

$$\xi = \frac{d}{\delta}$$

- matrice di trasferimento di calore di uno strato omogeneo

$$\boldsymbol{Z} = \begin{pmatrix} \hat{\theta}_2 \\ \hat{q}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{q}_1 \end{pmatrix}$$

- elementi complessi della matrice

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi)\cos(\xi) + \mathrm{j}\sinh(\xi)\sin(\xi)\,;$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda}\left\{\sinh(\xi)\cos(\xi) + \cosh(\xi)\sin(\xi) + \mathrm{j}\left[\cosh(\xi)\sin(\xi) - \sinh(\xi)\cos(\xi)\right]\right\}$$

$$Z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta}\left\{\sinh(\xi)\cos(\xi) - \cosh(\xi)\sin(\xi) + \mathrm{j}\left[\sinh(\xi)\cos(\xi) + \cosh(\xi)\sin(\xi)\right]\right\}.$$

- matrice di trasferimento del calore di un componente edilizio

$$\boldsymbol{Z} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = \boldsymbol{Z}_N\ \boldsymbol{Z}_{N-1} \ldots \boldsymbol{Z}_3\ \boldsymbol{Z}_2\ \boldsymbol{Z}_1$$

Tale norma è da seguire per determinare le prestazioni tramite il calcolo.

4.3 Norme tecniche parte acustica

Le procedure di calcolo previsionale, richiamate dalle normative regionali, sono basate sull'applicazione delle norme della serie UNI EN ISO 12354, e nello specifico sul recepimento e adattamento alla tipologia costruttiva nazionale.

Lo stato dell'arte sui modelli previsionali è rappresentato dalla normativa UNI, EN ed ISO di riferimento. Più precisamente si fa riferimento alle norme della serie UNI EN ISO 12354 e al rapporto tecnico dell'Ente Nazionale di Unificazione UNI TR 11175, che riporta un metodo previsionale semplificato dei soli aspetti legati all'involucro e ai componenti edilizi; mentre niente dice sul rumore prodotto dagli impianti in dotazione all'edificio. Per la parte sperimentale si è fatto riferimento alle norme della serie UNI EN ISO 10140, che dettano le procedure e le modalità di verifica delle prestazioni acustiche dei componenti in laboratorio. I valori ottenuti secondo le UNI EN ISO 10140 possono essere usati come dati di input dei modelli di calcolo previsto dalle UNI EN ISO 12354.

4.4 Norme tecniche parte termo-igrometrica

Si fa riferimento alla norma UNI EN 13788 - Prestazione igro-termica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo, che riporta una serie di procedure di calcolo per eseguire la verifica di non formazione di condensa o di rievaporazione della stessa nel caso di formazione. La norma definisce inoltre una serie di fattori, di cu tener conto in fase di progettazione, per evitare la formazione di condensa superficiale in differenti ambienti con diverse destinazioni d'uso e in presenza di carichi di vapore interni.

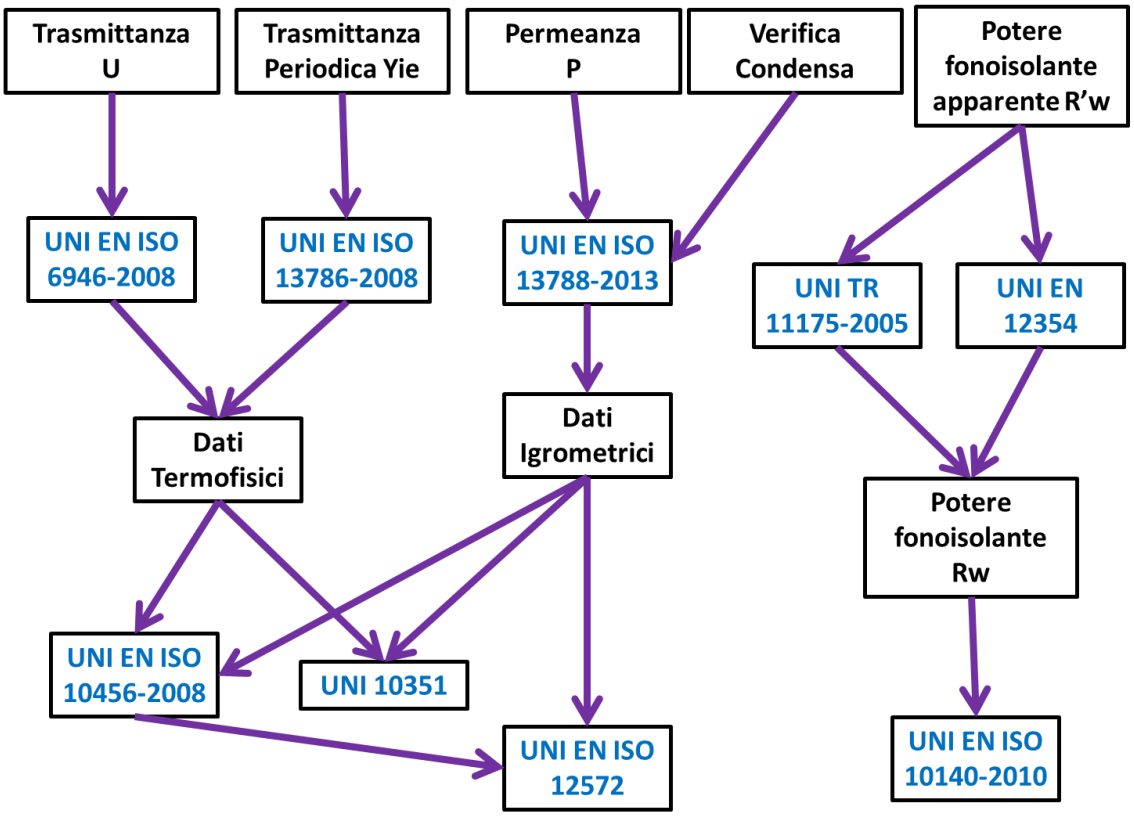
$$f_{\mathrm{Rsi,min}} = \frac{\theta_{\mathrm{si,min}} - \theta_{\mathrm{e}}}{\theta_{\mathrm{i}} - \theta_{\mathrm{e}}}$$

L'equazione del $f_{Rsi,min}$ rappresenta il fattore limite da confrontare con il fattore calcolato f_{Rsi} per evitare fenomeni di condensa superficiale. La norma riporta inoltre in appendice ulteriori norme di riferimento a livello nazionale riportanti i dati climatici e le condizioni iniziali da utilizzare nei calcoli.

Nel presente capitolo sono riportati i diagrammi di flusso da applicare nello studio di possibili stratigrafie per i sistemi edilizi e delle possibili ottimizzazioni rispetto ad un obiettivo prefissato dal produttore o fruitore dei sistemi.

4.5 Diagramma di flusso

Si riporta di seguito un diagramma di flusso che sintetizza il percorso progettuale-normativo relativo alla definizione dei componenti costituenti la stratigrafia di interesse.


Trasmittanza U
Trasmittanza Periodica Yie
Permeanza P
Verifica Condensa
Potere fonoisolante apparente R'w
UNI EN ISO 6946-2008
UNI EN ISO 13786-2008
UNI EN ISO 13788-2013
UNI TR 11175-2005
UNI EN 12354
Dati Termofisici
Dati Igrometrici
Potere fonoisolante Rw
UNI EN ISO 10456-2008
UNI 10351
UNI EN ISO 12572
UNI EN ISO 10140-2010