



ENRICO RAVAGNAN

PROGETTARE LA DURABILITÀ NEGLI EDIFICI A STRUTTURA DI LEGNO

IL MATERIALE LEGNO E LE CAUSE DI DEGRADO
PERCHÉ PROGETTARE LA DURABILITÀ
TEORIA SUL CALCOLO DEI PONTI TERMICI



Clicca e richiedi di essere contattato
per **informazioni** e **promozioni**



WEBAPP INCLUSA
CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

GRAFILL

Enrico Ravagnan

PROGETTARE LA DURABILITÀ NEGLI EDIFICI A STRUTTURA DI LEGNO

Ed. I (11-2024)

ISBN 13 978-88-277-0462-2

EAN 9 788827 704622

Collana **MANUALI**

Nella foto di copertina, intervento a Chiavari.

Progettisti architettonici Guido e Vittorio Campodonico, progetto strutturale Enrico Ravagnan.



**Licenza d'uso da leggere attentamente
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 - Fax 091/6823313 - Internet <http://www.grafill.it> - E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Tipografia Print Sprint S.r.l. - Napoli**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.



**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOMMARIO

INTRODUZIONE	p.	7
PARTE PRIMA		
IL MATERIALE LEGNO E LE CAUSE DI DEGRADO	"	9
1. LA DURABILITÀ DELLE SPECIE LEGNOSE	"	11
1.1. Le classi d'utilizzo	"	13
1.1.1. Definizione delle classi di utilizzo	"	14
1.1.2. Tabella riassuntiva delle classi di utilizzo - rischio biotico	"	16
1.1.3. Le cause e i meccanismi del degrado	"	16
1.2. Specie legnose e durabilità	"	19
1.2.1. Normativa Europea sulla durabilità del legno e dei prodotti a base di legno	"	22
PARTE SECONDA		
PERCHÉ PROGETTARE LA DURABILITÀ?	"	23
2. IL PROGETTO DELLA DURABILITÀ	"	25
3. PROGETTARE LA DURABILITÀ NEGLI EDIFICI RESIDENZIALI	"	28
3.1. La tenuta all'aria	"	28
3.1.1. Superfici funzionali e convenzione di termini	"	31
3.1.2. La tenuta all'aria è un fenomeno invernale	"	31
3.1.3. Lo smaltimento dell'umidità	"	33
3.1.4. Traspirazione, permeabilità al vapore acqueo	"	34
3.1.5. Problematiche dovute al passaggio di aria attraverso le interruzioni dello strato funzionale di tenuta all'aria	"	35
3.2. La tenuta al vento	"	38
4. LA PROGETTAZIONE DEI NODI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO	"	40
4.1. Le pareti verticali	"	41
4.1.1. Pareti in X-Lam	"	41

4.1.2.	Pareti a telaio	p.	52
4.1.3.	Pareti a tronchi sovrapposti	"	60
4.2.	L'attacco a terra.....	"	64
4.2.1.	Parete su solaio di cantina e rivestimento a cappotto	"	68
4.2.2.	Parete su solaio di cantina e rivestimento a cappotto con parete ventilata	"	70
4.2.3.	Parete su solaio di cantina e rivestimento a cappotto, piano pavimento finito interno ed esterno complanari	"	72
4.2.4.	Parete su solaio di cantina, rivestimento a cappotto e rivesto a cappotto interno, piano pavimento finito interno ed esterno complanari	"	74
4.2.5.	Parete su cordolo in calcestruzzo armato.....	"	75
4.2.6.	Parete a tronchi sovrapposti su radice in calcestruzzo	"	85
4.2.7.	Parete a telaio su radice in calcestruzzo.....	"	88
4.2.8.	Parete di X-Lam 10 cm su radice in calcestruzzo	"	89
4.3.	L'attacco solaio-parete	"	94
4.4.	L'attacco balcone parete	"	98
4.4.1.	Balcone in prolungamento del pannello di solaio	"	98
4.4.2.	Balcone su mensole	"	101
4.4.3.	Balcone poggiate su pilastri	"	105
4.5.	Attacco serramento-parete	"	110
4.5.1.	Analisi del nodo.....	"	112
4.5.2.	Considerazioni finali	"	128
4.6.	Attacco tetto parete	"	129
4.6.1.	Copertura con struttura di X-Lam	"	129
4.6.2.	Copertura realizzata con struttura a travi.....	"	135
4.7.	Il passaggio degli impianti	"	146
4.7.1.	Passaggio delle canalizzazioni della VMC dalla centrale termica all'involucro riscaldato.....	"	148
4.7.2.	Passaggio delle guaine elettriche dal quadro generale verso locali riscaldati.....	"	149
4.7.3.	Passaggio delle guaine elettriche verso l'esterno dell'edificio	"	151
4.7.4.	Passaggio degli impianti idraulici attraverso un solaio laterocementizio	"	152
4.7.5.	Sfiati e passaggi a tetto	"	153
4.7.6.	Canne fumarie	"	155
4.7.7.	Finestre da tetto.....	"	161
4.7.8.	La corretta realizzazione dell'imbotte della finestra	"	161
4.7.9.	La posa dei teli	"	162
4.7.10.	La posa del serramento.....	"	162

PARTE TERZA

UN PO' DI TEORIA	p. 165
5. IL PONTE TERMICO	" 167
5.1. Definizione	" 167
5.2. Normativa tecnica di riferimento.....	" 168
5.2.1. UNI EN ISO 10211.....	" 168
5.2.2. UNI EN ISO 14683.....	" 169
5.3. Grandezze fisiche di riferimento	" 169
5.4. Parametri per il calcolo dei ponti termici	" 170
5.4.1. Trasmissanza termica lineica Ψ [W/mK]	" 170
5.4.2. Temperatura superficiale minima θ_{min}	" 171
5.4.3. Fattore di temperatura sulla superficie interna f_{Rsi}	" 171
5.5. Modelli di calcolo di un ponte termico	" 171
5.6. Definizione del modello geometrico	" 172
5.6.1. Piani di taglio nel modello tridimensionale	" 172
5.6.2. Piani di taglio nel modello bidimensionale	" 173
5.6.3. Piani di taglio nel terreno	" 174
5.7. Calcolo delle dispersioni termiche attraverso un ponte termico.....	" 175
5.7.1. Calcolo delle dispersioni termiche di un involucro edilizio.....	" 175
5.7.2. Calcolo della flusso termico Φ	" 176
5.7.3. Calcolo della trasmissanza termica lineare	" 176
5.7.4. Calcolo del coefficiente di accoppiamento termico L_{2D}	" 177
5.7.5. Calcolo della temperatura superficiale minima θ_{si}	" 177
5.7.6. Calcolo del fattore di temperatura superficiale f_{Rsi}	" 178
5.7.7. Esempio di calcolo del fattore di temperatura superficiale in un modello monodimensionale	" 179
5.7.8. Esempio di calcolo del fattore di temperatura superficiale in un modello bidimensionale	" 181
PARTE QUARTA	
SOFTWARE PER IL CALCOLO DEI PONTI TERMICI	" 183
6. SOFTWARE COMMERCIALI E FREEWARE	" 185
7. IL SOFTWARE THERM 7.8	" 187
8. GUIDA ALL'USO DEL SOFTWARE THERM 7.8	" 188
8.1. Interfaccia grafica del programma Therm 7.8	" 188
8.2. Disegnare con Therm.....	" 189

8.3.	Disegno del nodo da analizzare con i comandi grafici presenti nel software: impostazione della modalità i disegno con Snap.....	p.	190
8.4.	Importazione di un file .dxf.....	"	190
8.5.	Assegnazione dei materiali dopo aver disegnato i poligoni	"	191
8.6.	Definire nuovi materiali.....	"	195
8.7.	Tipi di materiali in Therm - Caratteristiche.....	"	197
8.8.	Creare Librerie materiali personalizzate	"	201
8.9.	Definizione delle condizioni al contorno	"	201
8.10.	Esempio di calcolo	"	209
8.11.	Calcolo del fattore di temperatura superficiale	"	213
8.12.	Visualizzazione delle isoterme critiche	"	216
8.13.	Considerazioni finali su Therm.....	"	217
8.14.	Intercapedini d'aria debolmente ventilate	"	218
9.	CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP	"	219
9.1.	Contenuti della WebApp.....	"	219
9.2.	Requisiti hardware e software	"	219
9.3.	Attivazione della WebApp	"	219

INTRODUZIONE

Nella pratica professionale, quando si propone, per la realizzazione di un edificio, la struttura di legno ci possiamo trovare di fronte a due tipi di committente:

- 1) l'entusiasta: vuole un edificio a struttura di legno perché è "eco" o è "di moda", ma fondamentalmente non si preoccupa di quali siano le criticità di un edificio di questo tipo e si affida, per la costruzione a nomi più o meno blasonati;
- 2) il dubbioso: ti investe di domande del tipo: quanto dura? Brucia? Ma è sicuro? E così via...

Questo secondo tipo di committente è forse quello più stimolante, in quanto ogni volta ci obbliga a rimettere in discussione le nostre conoscenze, ma sicuramente ci impegna a spiegare in modo sempre nuovo come un edificio a struttura di legno funzioni e quali siano le strategie per meglio proteggerlo.

L'argomento durabilità verrà affrontato sotto diversi aspetti:

- la progettazione;
- la verifica delle soluzioni proposte dai costruttori;
- la direzione lavori e la realizzazione in cantiere.

In particolare si vuole condurre un'analisi critica sia delle soluzioni standard che di quanto mediamente offerto mediamente dal mercato. Si andrà ad evidenziare come la corretta realizzazione di un nodo di un edificio deve coniugare le esigenze del progettista architettonico, dello strutturista e del progettista degli isolamenti termici.

Nella pratica professionale, quando la progettazione di un nodo è stata realizzata da differenti professionisti, ci si trova di fronte, ad esempio, che l'attacco a terra di pareti o pilastri, risolto dallo strutturista non è compatibile con quanto necessita al progettista degli isolamenti, analogamente succede con il progetto architettonico dove la soluzione architettonica non è compatibile con le esigenze delle prestazioni termiche.

Questa carenza di progettazione integrata spesso si estende fino alle stratigrafie della copertura, che spesso sono lasciate alla discrezione della segheria o, peggio, all'esperienza dell'impresa costruttrice.

Il presente testo è organizzato in quattro parti, ognuna indipendente dall'altra:

- **PARTE PRIMA - IL MATERIALE LEGNO E LE CAUSE DI DEGRADO**, tratta i seguenti argomenti:
 - la scelta della specie legnosa in base alla durabilità; la scelta della specie legnosa in base alla destinazione d'uso;

- classi di rischio ambiente esterno o interno;
- il concetto di tenuta all'aria.
- **PARTE SECONDA – PERCHÉ PROGETTARE LA DURABILITÀ?**, tratta i seguenti argomenti:
 - la progettazione dei nodi critici degli edifici a struttura di legno;
 - progettazione della durabilità e prescrizioni ottimali di isolamento termico;
 - il sistema tetto;
 - la corretta progettazione delle parti esposte alle intemperie: travi, balconi, parapetti, pavimentazioni esterne.
- **PARTE TERZA – UN PO' DI TEORIA**, tratta:
 - il calcolo dei ponti termici;
- **PARTE QUARTA – SOFTWARE PER IL CALCOLO DEI PONTI TERMICI**, tratta i seguenti argomenti:
 - software commerciali e freeware;
 - il software Therm 7.8.

LA DURABILITÀ DELLE SPECIE LEGNOSE

Prima di affrontare i dettagli costruttivi e le modalità di progettazione degli stessi, è importante considerare con attenzione le caratteristiche del materiale legno; queste indirizzeranno la nostra progettazione dei singoli nodi in funzione delle condizioni ambientali che andremo ad analizzare.

In questo capitolo si analizzeranno due caratteristiche fondamentali del materiale legno che dovremo sempre considerare nel corso della progettazione dei nostri edifici:

- durabilità;
- specie legnosa.

La durabilità di un materiale è la capacità di un determinato materiale a durare nel tempo in determinate condizioni ambientali.

Per i materiali da costruzione "tradizionali", quali la pietra o i mattoni, la fiducia nella capacità di durare nel tempo del materiale è supportata dall'esperienza comune. Si può verificare quotidianamente l'esistenza di edifici storici che si sono mantenuti nel tempo.

Per altri materiali da costruzione, quali il cemento armato o l'acciaio, la fiducia nella durabilità del materiale è in un certo senso "ingannevole". La durabilità di questi materiali dipende da una corretta progettazione e manutenzione dell'edificio. È esperienza comune osservare come edifici relativamente recenti presentino forme di degrado anche importanti (perdita del coprifermo delle strutture in cemento armato a vista, ossidazione delle armature, ossidazione delle strutture in acciaio).

Per quanto riguarda l'utilizzo del legno quale materiale da costruzione per la realizzazione di interi edifici residenziali, il comune senso di fiducia nella durabilità di questo materiale si limita alle strutture di copertura, ma rimane abbastanza limitato nei confronti delle strutture in elevazione.

La perdita di una cultura del legno per uso strutturale, avviene in Italia a partire dagli anni '30 / '40, con conseguente perdita delle competenze specifiche a favore di costruzioni a struttura di cemento armato e costruzioni a struttura di acciaio.

La constatazione che molte strutture di legno, soprattutto di più recente realizzazione, degradano velocemente, non contribuiscono a dare del legno l'immagine di un materiale durevole alla pari di altri materiali da costruzione.

Edifici storici a struttura di legno in Italia esistono, e sono principalmente localizzati nell'area alpina; si prendano ad esempio le case situate nel comprensorio del Monte Rosa (figura 1.1), e gli edifici rurali del Trentino e dell'Alto Adige.



Figura 1.1. Macugnaga (fonte Wikipedia)

Osservando questi edifici si nota che solo una corretta progettazione è in grado di garantire la durabilità di un edificio a struttura in legno e la manutenzione, al pari di un edificio tradizionale, ne garantisce la piena funzionalità nel tempo.

Il legno è un materiale con caratteristiche fisiche molto particolari:

- presenta dilatazioni termiche pressoché nulle,
- resiste all'attacco degli acidi,
- si comporta molto bene in caso di sisma,
- mal sopporta le variazioni di umidità ed i ristagni d'acqua.

Nelle strutture esposte direttamente alle intemperie, come nel caso delle teste delle travi o i rivestimenti lignei, occorre fare attenzione che non vi siano ristagni d'acqua e l'andamento delle fibre garantisca l'allontanamento dell'acqua dalla parte esposta.



Figura 1.2. La testa delle travi risulta più vulnerabile all'esposizione all'acqua meteorica in quanto le fibre tagliate trasversalmente favoriscono il ristagno d'acqua



Figura 1.3. La cattiva progettazione che ha favorito il ristagno d'acqua ha degradato le strutture di larice di questo ponte pedonale rendendolo inutilizzabile e non riparabile nell'arco di soli 3 anni

IL PROGETTO DELLA DURABILITÀ

In base a quanto già illustrato, la durabilità del materiale legno dipende, da un lato dalle condizioni ambientali di lavoro della struttura e dall'altro, dalla specie legnosa utilizzata. Nella pratica professionale ci troviamo ad affrontare principalmente tre casistiche:

- edifici residenziali con struttura di legno;
- rivestimenti esterni e pavimentazioni;
- ponti, pensiline, o altre strutture sottoposte alle intemperie.

Il materiale legno disponibile, ovvero quello reperibile in segheria di uso corrente, è:

- **per utilizzo strutturale:** abete massiccio o lamellare; larice principalmente massiccio ma anche lamellare; castagno massiccio; duglasia massiccio in tavole o travetti;
- **per uso rivestimento:** ipé; iroko; larice; duglasia.

Per cui possiamo ulteriormente ridurre il problema a due casistiche specifiche:

- **strutture protette**, ovvero soggette solo alle variazioni di umidità di un ambiente interno di un edificio, per le quali la progettazione sarà principalmente rivolta ad evitare fenomeni di condensazione interstiziale tra legno e strutture adiacenti;
- **strutture esposte alle intemperie**, ovvero strutture esposte all'acqua meteorica quali rivestimenti esterni, strutture di ponti, travi di copertura, per le quali la progettazione sarà rivolta principalmente a trovare soluzioni per lo smaltimento dell'acqua, evitarne il ristagno e da qui, l'impiego di specie legnose adeguate.

Ora possiamo rispondere alla domanda:

- **Quanto dura un edificio a struttura di legno?**

Una risposta può essere:

- **Dipende dalla corretta progettazione, per un edificio o struttura ben progettata la durata è del tutto analoga a quelle delle strutture tradizionali soggette ad una corretta manutenzione.**

A livello nazionale abbiamo un patrimonio di edifici storici a struttura di legno che mantengono la loro efficienza e tuttora utilizzati: gli Stadel in Valle d'Aosta, la Case Walser in val Sesia, i Masi in Trentino e Alto Adige e i Tabià nel bellunese.

Tutti questi edifici sono stati realizzati con soluzioni atte a garantire la durabilità delle parti strutturali non sostituibili e la manutenzione delle parti deteriorabili, o l'adozione si

elementi di sacrificio specificatamente pensati per proteggere le parti strutturali che potrebbero degradarsi se esposte direttamente alle intemperie.



Figura 2.1. Casa Walser della val del Lys: si notano i tipici supporti a fungo con funzione di proteggere la casa dalla risalita dei roditori (fonte Unité des Communes valdôtaines Walser)



Figura 2.2. Valle d'Aosta (fonte Unité des Communes valdôtaines Walser)

PROGETTARE LA DURABILITÀ NEGLI EDIFICI RESIDENZIALI

Le strutture all'interno di abitazioni sono riconducibili ad una classe di utilizzo 1 caratterizzata da:

- Clima 20°C / umidità relativa dell'aria 65%;
- Umidità del legno ugl = ~ 12%;
- *Rischio non presente: nessuno sviluppo di funghi, legno "secco".*

Sotto l'aspetto strutturale ci troviamo nella situazione migliore: possiamo utilizzare specie legnose che non presentino particolari caratteristiche di durabilità.

L'abete è la specie più utilizzata in quanto è caratterizzato da buone caratteristiche meccaniche, è a veloce crescita, ma per contro presenta una modesta durabilità se esposto alle intemperie: deve essere protetto se utilizzato in classe di utilizzo 2 e 3 ed è inadeguato per le restanti classi.

In base a quanto sopra asserito si è indotti a pensare che la posa di elementi strutturali di legno all'interno di edifici residenziali sia esente da problemi; in realtà, in ambito professionale, è esperienza comune il riscontro di marcescenze o degrado delle teste delle travi di legno posate su murature perimetrali di edifici residenziali. Questo fenomeno dato per "fisiologico" negli edifici storici si presenta anche nelle costruzioni moderne, a volte in modo assai aggressivo.

3.1. La tenuta all'aria

Prima di passare alla progettazione dei nodi è necessario chiarire come può l'acqua depositarsi in determinati punti e portare al degrado delle strutture sia lignee che tradizionali.

Nella pratica professionale ci sono noti, ad esempio nel calcolo termotecnico di una parete, concetti quali pressione di vapore, umidità relativa dell'aria, permeabilità al vapore di un materiale ecc.

In base alla esperienza di consulente tecnico del tribunale, mi è capitato con una certa frequenza di trovarmi di fronte a situazioni come quella illustrata in figura 3.1, dove si osservano marcescenze diffuse, nella zona di della copertura a confine con la parte esterna dell'edificio, comparse a distanza di soli due anni dalla realizzazione dell'edificio.

Particolare attenzione va posta nell'osservare che le marcescenze sono localizzate solo sul tavolato nella parte della copertura situata in prossimità del lato esterno della muratura perimetrale e sul tavolato in adiacenza del lato interno della muratura.



Figura 3.1. Marcescenze diffuse in corrispondenza del filo esterno della muratura

Le successive indagini hanno evidenziato che nessuna infiltrazione era in atto dalla copertura (figura 3.2) e che il fenomeno è riconducibile esclusivamente alla mancanza di una perfetta tenuta all'aria tra il telo freno vapore posato sulla copertura e la muratura stessa.

La mancata sigillatura del freno vapore con la parte interna della muratura perimetrale ha permesso la fuoriuscita dell'aria calda e umida presente all'interno dell'edificio con conseguente condensa sul filo esterno freddo della muratura con conseguente imbibimento delle perline.



Figura 3.2. L'apertura degli strati di tenuta e dell'isolante ha messo in mostra che il solo strato bagnato è quello del tavolato al di sotto del telo freno vapore

LA PROGETTAZIONE DEI NODI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

Nella figura 4.1 sono stati individuati i nodi dell'involucro che andremo ad analizzare nelle sezioni che seguono. Questi nodi sono quelli che solitamente presentano i maggiori problemi e che devono essere oggetto di una attenta progettazione.

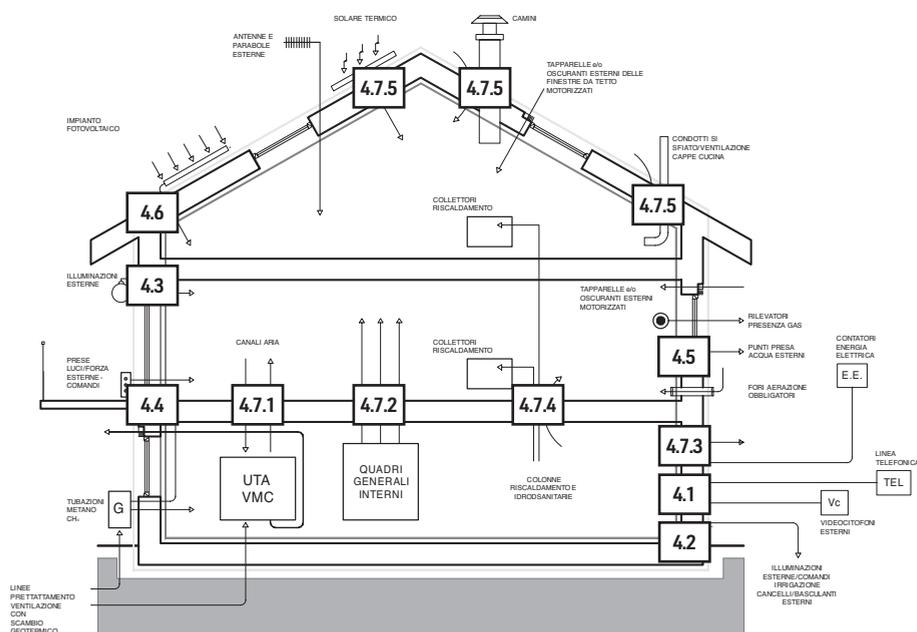


Figura 4.1. Abaco dei nodi

I concetti e la metodologia di lavoro sono quelli proposti dall'Agenzia CasaClima che sono la "regola dell'arte" per la corretta realizzazione dell'involucro edilizio e hanno validità per ogni tipo di edificio. In ambito professionale si è scelta questa metodologia di lavoro indipendentemente dalla volontà di raggiungere una certificazione CasaClima.

Se in una struttura tradizionale l'errata posa di un isolante, di un serramento, di una membrana freno vapore o di tenuta all'aria si traducono in perdita di calore, presenza di acqua di condensa, formazione di muffe, con lento degrado delle finiture, in un edificio a struttura di legno questi difetti di progettazione e di posa possono portare, in pochi anni, al deterioramento delle strutture stesse con conseguente collasso parziale o completo del bene.

4.1. LE PARETI VERTICALI

Primo elemento da considerare sono le pareti verticali, che possiamo distinguere in tre tipologie fondamentali:

- **pareti in X-Lam:**
 - pannelli a 5 strati;
 - pannelli a 3 strati;
 - pannelli non incollati;
- **pareti a telaio:**
 - controventate con pannello in OSB;
 - controventate con pannelli in fibrogesso;
 - controventate con tavole di legno;
- **pareti a tronchi sovrapposti:**
 - tronchi in legno naturale;
 - tronchi in lamellare.

Ognuna di queste tipologie presenta delle peculiarità che occorre conoscere per garantirne la durabilità nel tempo

4.1.1. Pareti in X-Lam

Questo tipo di pannello può essere considerato come un pannello di legno pieno realizzato mediante l'assemblaggio di più tavole incrociato tra di loro, da cui l'acronimo X-Lam o CLT, *Cross Laminated Timber*, o più semplicemente pannelli di compensato di tavole.

I pannelli vengono realizzati a partire da 3 tavole incrociate fino a 7, 9 o più tavole, in ogni caso sempre in numero dispari, a seconda della tipologia di assemblaggio del pannello e della capacità di carico prevista.

Pannelli a 5 o più strati incollati

Questi pannelli vengono realizzati incollando strati di tavole di diverso spessore ruotate tra di loro di 90° (figura 4.2).



Figura 4.2. Pannello incollato a 5 strati

IL PONTE TERMICO

5.1. Definizione

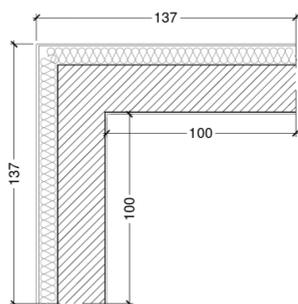
Il **ponte termico** è quella zona locale limitata dell'involucro edilizio che rappresenta una **densità di flusso termico maggiore** rispetto agli elementi costruttivi adiacenti.

I ponti termici possono classificarsi per **CAUSA** e per **TIPOLOGIA**.

Classificazione per CAUSA

1) **Disomogeneità geometrica**: differenza tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella del lato esterno, come avviene per esempio in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto. Esempi sono:

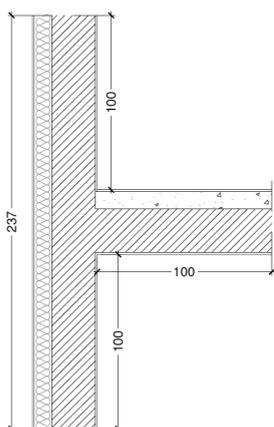
- Gli spigoli delle murature in corrispondenza dei quali aumenta la superficie disperdente esterna rispetto alla superficie interna.



Superficie esterna: 274

Superficie interna: 200

La superficie esterna è maggiore del 37% rispetto a quella interna



Superficie esterna: 237

Superficie interna: 200

La superficie esterna è maggiore del 18.5% rispetto a quella interna.

- I giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto dove abbiamo un aumento di superficie disperdente esterna rispetto a quella interna.
 - Variazione dello spessore della costruzione (cavedi, nicchie, vani tecnici, canne fumarie).
- 2) **Disomogeneità materica**: discontinuità di resistenza termica che si può verificare quando nella sezione delle strutture dell'involucro edilizio, pareti esterne, coperture, solai di base, sono presenti materiali con conduttività termica diversa come:
- pilastri;
 - travi e cordoli;
 - chiodi di fissaggio del cappotto isolante esterno;
 - elementi di collegamento di balconi;
 - sovrastrutture esterne;
 - attacchi per tende;
 - scurettili;
 - tettoie mensole.

Classificazione per TIPOLOGIA

1) *Lineari*:

- cordoli;
- travi;
- aggetti;
- pilastri;
- marciapiedi;
- davanzali passanti.

2) *Puntuali*:

- pilastri (attacco a pavimento ed a soffitto);
- chiodi cappotto termico;
- travi a sbalzo;
- attacchi di sovrastrutture esterne.

5.2. Normativa tecnica di riferimento

Le norme tecniche di riferimento per l'analisi dei ponti termici sono:

- UNI EN ISO 10211:2008 – *Ponti termici in edilizia*. Flussi termici e temperature superficiali. Calcoli dettagliati;
- UNI EN ISO 14683:2008 – *Ponti termici in edilizia*. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento.

5.2.1. UNI EN ISO 10211

La norma definisce le specifiche dei modelli geometrici tridimensionali e bidimensionali di un ponte termico, ai fini del calcolo numerico di:

SOFTWARE COMMERCIALI E FREEWARE

L'analisi dei ponti termici può essere effettuata mediante gli atlanti dei ponti termici contenuti nella UNI EN 14683 o mediante appositi software.

I due metodi di analisi sono entrambi utili:

- l'atlante dei ponti termici presenta una casistica di ponti termici tipo redatti secondo le modalità costruttive più ricorrenti;
- i software di calcolo permettono di compiere l'analisi di qualsiasi dettaglio costruttivo, forniscono una valutazione molto precisa della trasmittanza termica lineica Ψ , sia per una valutazione corretta delle temperature superficiali e interstiziali. Il loro utilizzo è spesso difficile ed i costi delle licenze sono elevati.

I software di calcolo dei ponti termici devono rispettare i criteri di validazione contenuti nell'Appendice A della norma UNI EN ISO 10211.

I software validati devono indicare secondo quali casi test è stata effettuata la validazione in modo da conoscere il grado di errore rispetto ai vincoli normativi vigenti.

Sul sito BUILD UP – *The European portal for energy efficiency and renewable energy in buildings*, si trova un elenco di software in grado di analizzare un ponte termico nel rispetto della norma tecnica di riferimento¹:

Nome	Tipo	2D/3D	SS/TR	FF/R		Licenza	Validazione
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
Ansys multiphysics	M-PHYS	3D	TR	FF	-	Commerciale	
Ansys CFX	M-PHYS	3D	TR	FF	-	Commerciale	-
AnTherm ⁽²⁾	H-T	3D	SS	R	Y	Commerciale	EN ISO 10211 EN ISO10077
Argos ⁽³⁾	H-T	2D	SS	FF	Y	Commerciale	
Bisco/Bistra	H-T	2D	SS/TR	FF	Y	Commerciale	EN ISO 10211 EN ISO10077
Champs-bes	HAM-T	2D	TR	R	N	Gratuito	EN ISO 10211
Comsol multiphysics	M-PHYS	3D	TR	FF	-	Commerciale	EN ISO 10211
David 32	H-T	3D	SS	R	N	Gratuito	EN ISO 10211

[segue]

¹ <https://www.buildup.eu/en/practices/publications/software-and-atlases-evaluating-thermal-bridges>

IL SOFTWARE THERM 7.8

Therm 7.8, sviluppato presso il Lawrence Berkeley National Laboratory, è un software di simulazione agli elementi finiti di tipo bidimensionale con licenza freeware.

Il software si basa sulla norma ISO 15099 (*Thermal performance of Windows, doors and shading devices - Detailed calculations*) e nasce come modulo associato al programma Window+5 per calcolare gli indici di prestazione termica e ottica delle finestre.

THERM 7.8 può essere scaricato, previa registrazione, dal link:

<https://windows.lbl.gov/software-tools>

Sul sito sono disponibili il manuale d'uso in inglese, unitamente ai requisiti hardware e software minimi richiesti dal programma.

Dal sito dell'ente belga Passiefhuis (www.bouwdetails.be), sono scaricabili le validazioni rispetto alla norma tecnica UNI EN ISO 10211 del software fino alla versione 6.3.

In sintesi, il software Therm 7.8 presenta le seguenti caratteristiche:

- è un software freeware;
- esegue il calcolo agli elementi finiti;
- è in lingua inglese¹;
- è dotato di un help con 3 voci:
 - **About Therm** (riporta informazioni sul programma, sul programmatore e il numero di serie);
 - **Tutorial** (link alla pagina web del manuale in inglese e vari tutorial);
 - **Check for updates** (ricerca gli aggiornamenti disponibili);
- permette l'importazione di file vettoriali (*.dxf) in formato R11;
- contiene una banca dati dei materiali, secondo gli standard USA, implementabile con una banca dati personalizzata;
- consente l'esportazione delle immagini mediante la funzione stampa
- consente l'esportazione dei file di archivio (bc.lib; material.lib; Ufactor.lib);
- eseguito il calcolo consente l'esportazione dei dati U-factors in un file TXT;
- non consente il calcolo automatico della trasmittanza termica lineica Ψ del ponte termico.

¹ Un manuale in italiano è disponibile su <http://imclab.it/therm-il-manuale-in-italiano/>

GUIDA ALL'USO DEL SOFTWARE THERM 7.8

Therm è un software di facile utilizzo, dall'interfaccia essenziale con pochi comandi utili alla modellazione. I dati in uscita necessitano di una elaborazione successiva per il calcolo della trasmittanza lineica Ψ del ponte termico o il calcolo del fattore di temperatura per la verifica della formazione di condensa superficiale.

In questo capitolo non verranno trattati gli aspetti di come si disegna con Therm, in quanto in linea di massima risulta intuitivo e il manuale su questo argomento è abbastanza esaustivo. L'attenzione verrà focalizzata sugli aspetti del calcolo e dei parametri da inserire per una corretta analisi, in particolare verranno analizzati quegli aspetti del software che si è trovato di non immediata comprensione.

8.1. Interfaccia grafica del programma Therm 7.8

La finestra iniziale del programma si presenta come in figura 8.1 ed è caratterizzata dalla barra dei menu (figura 8.2), dalla barra degli strumenti (figura 8.3) e dalla barra di stato (figura 8.4) posta alla base della finestra.

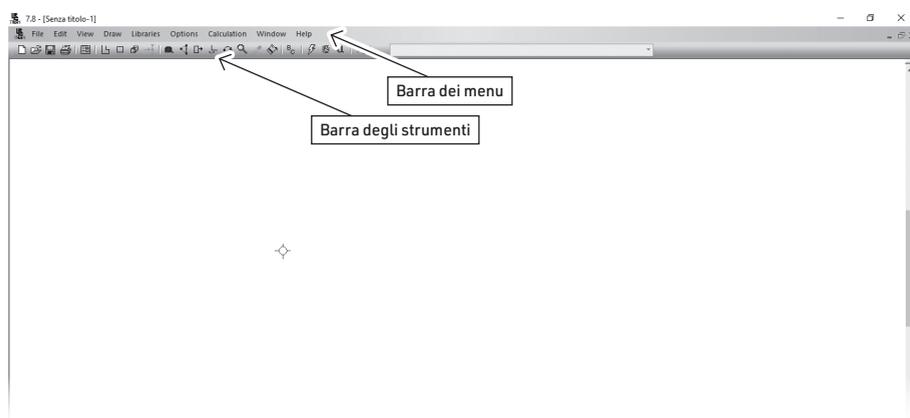


Figura 8.1. Schermata iniziale (dettaglio)

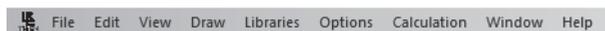


Figura 8.2. Barra dei menu

CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP

9.1. Contenuti della WebApp

- Tabella di calcolo in Excel del fattore di temperatura superficiale;
- Disegni dei nodi 3D analizzati nel testo, in formato SketchUp;
- Disegni dei nodi analizzati nel testo, in formato DWG;
- File Therm dei nodi analizzati nel testo e relativi disegni in formato DXF realise R11;
- Speciale “**Progettazione Strutturale**”: banca dati di normativa e giurisprudenza sempre aggiornata e consultabile attraverso un motore di ricerca.

9.2. Requisiti hardware e software

- Dispositivi con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Accesso ad internet e browser web con Javascript attivo;
- Software per la gestione di documenti Office e PDF.

9.3. Attivazione della WebApp

- Collegarsi al seguente web link:

https://www.grafill.it/pass/0462_2.php

- Inserire i codici **[A]** e **[B]** presenti nell’ultima pagina del libro e cliccare **[Continua]**;
- Accedere al **Profilo utente Grafill** oppure crearne uno su www.grafill.it;
- Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**;
- Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** a fianco del prodotto acquistato;
- Fare il *login* usando le stesse credenziali di accesso al **Profilo utente Grafill**;
- Accedere alla WebApp cliccando la copertina esposta sullo scaffale **Le mie App**.

