



Stefano Cascio

Solai e tetti in legno lamellare e massiccio

SOFTWARE PER IL CALCOLO DI TETTI PIANI O INCLINATI

- Caratteristiche tetti piani e a falda
- Analisi strutturale
- Azioni e combinazioni
- Verifiche di resistenza
- Calcolo e relazione tecnica
- Piano di manutenzione
- Esempi di calcolo
- **AGGIORNAMENTI**
 - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 gennaio 2018)
 - UNI EN 14080:2013 (Strutture di legno – Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato – Requisiti)
 - UNI EN 19951-1:2014 (Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici)
 - UNI EN 338:2016 (Legno strutturale – Classi di resistenza)

SECONDA EDIZIONE

SOFTWARE INCLUSO

CALCOLO DI TETTI PIANI O INCLINATI IN LEGNO LAMELLARE E MASSICCIO

AI SENSI DEL D.M. 17 GENNAIO 2018 (NTC 2018)

E SECONDO LE CLASSI DI RESISTENZA DELLE UNI EN 14080:2013 E UNI EN 338:2016



Stefano Cascio

SOLAI E TETTI IN LEGNO LAMELLARE E MASSICCIO

Ed. 2 (3-2018)

ISBN 13 978-88-8207-989-5

EAN 9 788882 079895

Collana **Software** (106)

Cascio, Stefano <1950->

Solai e tetti in legno lamellare e massiccio / Stefano Cascio.

– 2. ed. – Palermo : Grafill, 2018.

(Software ; 106)

ISBN 978-88-8207-989-5

1. Solai [e] Tetti in legno.

694.2 CDD-23

SBN Pal0305858

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile anche in eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e PayPal.

Per i pagamenti con carta di credito e PayPal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno Smartphone o un Tablet il Codice QR sottostante.



I lettori di Codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **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

Finito di stampare nel mese di marzo 2018

presso **Tipografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2 – 90142 Palermo

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.

La verifica dell'idoneità dei programmi per ottenere certi risultati, l'installazione, l'uso e la gestione sono onere e responsabilità esclusive dell'utente; l'autore e l'editore non garantiscono che le funzioni contenute nel programma soddisfino in tutto o in parte le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso, non potendo fornire alcuna garanzia sulle prestazioni e sui risultati ottenibili dal loro uso, né essere ritenuti responsabili dei danni o dei benefici risultanti dall'utilizzazione degli stessi.

INDICE

➤	INTRODUZIONE	p.	7
1.	TIPI DI LEGNO E RELATIVE CLASSI DI RESISTENZA	"	11
1.1.	Tipi di legno	"	11
1.1.1.	Legno massiccio	"	11
1.1.2.	Legno lamellare	"	12
1.2.	Classi di resistenza	"	13
1.2.1.	Classificazione sulla base delle proprietà delle lamelle	"	17
1.2.2.	Attribuzione diretta in base a prove sperimentali.....	"	17
2.	VERIFICA DELLA RESISTENZA STRUTTURALE	"	21
3.	AZIONI SULLE COSTRUZIONI E LORO COMBINAZIONE	"	26
3.1.	Pesi propri dei materiali strutturali	"	26
3.2.	Carichi permanenti non strutturali	"	26
3.2.1.	Elementi divisorii interni	"	26
3.3.	Sovraccarichi	"	27
3.3.1.	Carichi variabili orizzontali	"	29
3.4.	Classificazione delle azioni	"	29
3.5.	Caratterizzazione delle azioni elementari.....	"	30
3.6.	Combinazioni delle azioni	"	30
3.7.	Azioni nelle verifiche agli stati limite	"	32
3.8.	Vita nominale.....	"	33
4.	CARICO DOVUTO ALLA NEVE CON ESEMPIO PRATICO DI CALCOLO.....	"	34
4.1.	Azioni della neve	"	34
4.2.	Valore di riferimento del carico della neve al suolo	"	34
4.3.	Coefficiente di esposizione.....	"	35
4.4.	Coefficiente termico	"	36
4.5.	Carico neve sulle coperture	"	36
4.6.	Coefficiente di forma per le coperture.....	"	36
4.6.1.	Coperture adiacenti o vicine a costruzioni più alte	"	37
4.6.2.	Copertura ad una falda.....	"	38
4.6.3.	Copertura a due falde.....	"	39
4.7.	Esempio pratico di calcolo del carico neve.....	"	40

5. CARICO DOVUTO AL VENTO SECONDO LE NTC 2018

CON ESEMPIO PRATICO DI CALCOLO	p.	42
5.1. Azioni del vento	"	42
5.2. Velocità di riferimento	"	42
5.3. Periodo di ritorno e velocità di riferimento di progetto	"	44
5.4. Pressione del vento	"	45
5.5. Pressione cinetica di riferimento	"	45
5.6. Coefficiente di esposizione.....	"	45
5.7. Coefficiente di forma (o aerodinamico)	"	47
5.7.1. Pareti laterali	"	49
5.7.2. Altezza di riferimento per la faccia sopravvento.....	"	49
5.7.3. Altezza di riferimento per le facce sottovento e laterali.....	"	50
5.7.4. Coperture piane.....	"	50
5.7.5. Coperture a semplice falda	"	51
5.7.6. Coperture a doppia falda.....	"	52
5.7.7. Coperture a padiglione.....	"	52
5.7.8. Coperture a falde multiple	"	53
5.7.9. Pressione interna.....	"	55
5.7.10. Edifici con percentuale di aperture maggiore del 30%.....	"	56
5.7.11. Edifici con una superficie dominante	"	59
5.7.12. Edifici con distribuzione uniforme di aperture	"	60
5.7.13. Azioni tangenti	"	61
5.8. Esempio di calcolo della pressione del vento su parete esterna	"	61
5.9. Esempio di calcolo della pressione del vento su un tetto	"	65

6. COSTRUZIONI IN LEGNO	"	70
6.1. La valutazione della sicurezza.....	"	70
6.2. Analisi strutturale	"	70
6.3. Azioni e loro combinazioni	"	71
6.4. Classi di durata del carico.....	"	71
6.5. Classi di servizio.....	"	71
6.6. Resistenza di calcolo	"	72
6.7. Stati limite di esercizio	"	72
6.8. Stati limite ultimi.....	"	72
6.8.1. Verifiche di resistenza.....	"	72
6.8.2. Verifiche di stabilità.....	"	72
6.9. Collegamenti.....	"	73
6.10. Elementi strutturali	"	74
6.11. Sistemi strutturali.....	"	75
6.12. Robustezza.....	"	75
6.13. Durabilità.....	"	76
6.14. Resistenza al fuoco	"	76

7. VERIFICHE DI RESISTENZA CON ESEMPI DI CALCOLO.....	p.	78
7.1. Verifiche di resistenza.....	"	78
7.1.1. Trazione parallela alla fibratura.....	"	78
7.1.2. Trazione perpendicolare alla fibratura.....	"	78
7.1.3. Compressione parallela alla fibratura.....	"	78
7.1.4. Compressione perpendicolare alla fibratura.....	"	79
7.1.5. Compressione inclinata rispetto alla fibratura.....	"	79
7.1.6. Flessione.....	"	79
7.2. Esempio di calcolo di una trave soggetta a flessione retta.....	"	80
7.3. Esempio di calcolo della dimensione di una trave soggetta a flessione semplice.....	"	83
7.4. Esempio di calcolo di una trave soggetta a flessione deviata.....	"	83
7.5. Esempio di verifica a taglio di una trave soggetta a flessione semplice.....	"	86
7.6. Esempio di verifica a instabilità della trave semplicemente appoggiata.....	"	89
7.7. Esempio di verifica a instabilità del pilastro.....	"	92
8. VERIFICA AGLI STATI LIMITI DI ESERCIZIO.....	"	95
8.1. Norme specifiche per elementi inflessi.....	"	98
8.2. Esempio di calcolo della deformazione: metodo esatto.....	"	99
9. TETTI IN LEGNO.....	"	103
10. ESEMPIO DI CALCOLO TETTO PIANO IN LEGNO.....	"	107
11. ESEMPIO DI CALCOLO TETTO A FALDA IN LEGNO.....	"	147
12. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO.....	"	190
12.1. Note sul software incluso.....	"	190
12.2. Requisiti hardware e software.....	"	190
12.3. Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	190
12.4. Installazione ed attivazione del software.....	"	191
13. MANUALE DEL SOFTWARE INCLUSO.....	"	192
13.1. Composizione tetto.....	"	192
13.2. Dati geometrici e meccanici dei materiali.....	"	193
13.3. Inserimento dei carichi.....	"	194

INTRODUZIONE

La pubblicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al D.M. 17 gennaio 2018, pubblicato sulla *Gazzetta Ufficiale* n. 42 del 20 febbraio 2018, Supplemento Ordinario n. 8, consolida quanto già normato precedentemente per le costruzioni in legno. Alcuni aspetti delle nuove NTC 2018 tendono ad avvicinare queste all'Eurocodice 5. I principali punti di riferimento della odierna normativa tecnica, per quanto attiene alle costruzioni di legno, sono i capitoli 4.4, 7.7 e 11.7.

Al capitolo 4.4 (*Costruzioni di legno*) si considerano strutture portanti quelle realizzate con elementi di legno strutturale (legno massiccio, segato, squadrato oppure tondo) o con prodotti strutturali a base di legno (legno lamellare incollato, pannelli a base di legno) assemblati con adesivi oppure con mezzi di unione meccanici, eccettuate quelle oggetto di una regolamentazione apposita a carattere particolare. La norma può essere usata anche per le verifiche di strutture in legno esistenti purché si provveda ad una corretta valutazione delle caratteristiche del legno e, in particolare, degli eventuali stati di degrado.

Sempre al capitolo 4 sono state modificate le tabelle 4.4.IV e 4.4.V, sia per quanto riguarda la indicazione delle norme di prodotto sia per alcuni coefficienti in esse riportate. Si osserva che tali tabelle sono ora perfettamente aderenti alle analoghe riportate in Eurocodice 5. Riportiamo come non sono state introdotte modifiche rilevanti allo schema generale della verifica della strutture di legno.

Le nuove norme hanno modificato i coefficienti di sicurezza del materiale legno (γ_m) aggiungendo alla tabella 4.4.III una colonna B con valori del coefficiente molto più prossimi ai valori proposti in Eurocodice 5; i coefficienti contenuti in tale colonna possono essere utilizzati quando sia possibile dimostrare che gli elementi utilizzati derivano da produzioni soggette a un controllo continuativo, con coefficiente di variazioni contenuti entro il 15%.

Nel capitolo 7.7 sono illustrati i provvedimenti specifici da adottare, in presenza di azioni sismiche, finalizzandoli alla progettazione e costruzione delle opere nuove. Sono precisati aspetti riguardanti la **progettazione in capacità**, distinguendo gli edifici progettati in accordo a un comportamento strutturale dissipativo (classe di duttilità «A» o «B») o non dissipativo. È stata introdotta la tipologia costruttiva che utilizza i pannelli di tavole incollate a strati incrociati.

Infine nel capitolo 11.7 si danno istruzioni sulla l'identificazione, qualificazione, e l'accettabilità del prodotto «*legno strutturale*» e le modalità di assunzione delle resistenze meccaniche. Tuttavia, alcuni importanti cambiamenti dovevano essere effettuati anche per tenere in considerazione le trasformazioni che, dal 2008, sono intervenute a livello Europeo sulla regolamentazione del materiale legno a uso strutturale. Tra queste, si deve sottolineare la sopravvenuta obbligatorietà della certificazione su tutti i prodotti in legno e di quelli ingegnerizzati a uso strutturale.

In generale tutti i materiali ed i prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle NTC 2018, per uso strutturale devono essere:

- *identificati*, univocamente a cura del fabbricante;
- *qualificati*, sotto la responsabilità del fabbricante;
- *accettati*, dal Direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di identificazione e qualificazione, nonché mediante eventuali prove di accettazione.

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

- a) Materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE.
Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della *Dichiarazione di Prestazione* e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011;
- b) Materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma armonizzata ovvero la stessa ricada nel periodo di coesistenza, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle presenti norme.
È fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il produttore abbia volontariamente optato per la Marcatura CE;
- c) Materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A) o B.
In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente *Valutazione Tecnica Europea* (ETA), oppure dovrà ottenere un *Certificato di Valutazione Tecnica* rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del *Certificato di Valutazione Tecnica*.

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori per tutte le tipologie di materiali e prodotti a base di legno e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare quanto sopra indicato e a rifiutare le eventuali forniture non conformi.

Il Direttore dei Lavori esegue i controlli di accettazione, così come disciplinato di seguito.

Il Direttore dei Lavori potrà far eseguire ulteriori prove di accettazione sul materiale pervenuto in cantiere e sui collegamenti, secondo le metodologie di prova indicate nella presente norma.

Per gli elementi di legno massiccio, su ogni fornitura, dovrà essere eseguita obbligatoriamente una classificazione visuale in cantiere su almeno il cinque per cento degli elementi costituenti il lotto di fornitura, da confrontare con la classificazione effettuata nello stabilimento.

Per gli elementi di legno lamellare dovrà essere acquisita la documentazione relativa alla classificazione delle tavole e alle prove meccaniche distruttive svolte obbligatoriamente nello stabilimento di produzione relativamente allo specifico lotto della fornitura in cantiere.

Il Direttore dei Lavori provvederà poi a controllare che le procedure di posa in opera siano conformi alle specifiche tecniche del produttore (paragrafo 11.7.1 delle NTC 2018).

Nel caso di non conformità rispetto a quanto sopra indicato, il Direttore dei Lavori e tenuto a rifiutare la fornitura (paragrafo 11.3.1.5 delle NTC 2018). Tale documentazione deve essere archiviata e tenuta a disposizione da parte dell'utilizzatore finale per almeno 10 anni (paragrafo 11.7.10.1.1 delle NTC 2018).

Alle NTC2008 vanno affiancate le cosiddette «*norme di prodotto*» che servono a definirne le proprietà meccaniche. Essenzialmente queste sono:

- UNI EN 338:2016 (*Legno strutturale. Classi di resistenza*);
- UNI EN 14080:2013 (*Strutture di legno-legno lamellare incollato e legno massiccio incollato*).

UNI EN 338:2016 (*Legno strutturale – Classi di resistenza*)

Preliminarmente riportiamo come i valori riportati all'interno di questa norma si riferiscono a legname in equilibrio igrometrico con l'ambiente caratterizzato dal 65% di umidità e 20 °C di temperatura, e quindi si riferiscono a un legno avente circa il 12% di umidità.

Con la UNI EN 338:2016, che sostituisce quella emanata nel 2009, alcuni dei valori delle classi di resistenza relativi a conifere e latifoglie, come meglio mostreremo più avanti, sono stati modificati. Inoltre sono state aumentate le di resistenza dedicate alle latifoglie rispetto alla vecchia versione con l'introduzione di ulteriori classi di resistenza. È bene precisare che le classi Cxx e Dxx (dove xx è riferito al valore caratteristico corrispondente al 5 percentile della resistenza a flessione) dedicate rispettivamente alle Conifere e alle Latifoglie sono estrapolate da prove eseguite con elementi disposti a coltello sulla macchina prova materiali.

Si hanno le seguenti classi di resistenza:

- *Conifere*: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50;
- *Latifoglie*: D18, D24, D27, D30, D35, D40, D45, D50, D55, D60, D65, D70, D75, D80.

Relativamente alle conifere sono state introdotte le classi «Txx», dove xx indica il valore caratteristico ottenuto da prove eseguite a trazione per elementi che in esercizio lavorano di piatto. Il legno appartenente alle classi T è principalmente destinato a legno lamellare incollato e ad altri casi in cui la trazione è il carico dominante. Il presente sistema di classi di resistenza nasce con l'intento di massimizzare le proprietà meccaniche del legno soprattutto per quanto riguarda gli assortimenti che lavorano principalmente a trazione (ad es. una tavola che costituisce il profilo di un elemento di legno lamellare).

UNI EN 14080:2013 (*Strutture di legno – Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato – Requisiti*)

Questa norma sostituisce e include nel testo le precedenti norme UNI sull'argomento:

- UNI EN 392:1997 (*Legno lamellare incollato. Prova di resistenza a taglio delle superfici di incollaggio*);
- UNI EN 390:1997 (*Legno lamellare incollato. Dimensioni. Scostamenti ammissibili*);
- UNI EN 1194:2000 (*Strutture di legno – Legno lamellare incollato – Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici*);
- UNI EN 385:2003 (*Legno strutturale con giunti a dita – Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione*);

- UNI EN 386:2003 (*Legno lamellare incollato – Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione*);
- UNI EN 391:2003 (*Legno lamellare incollato – Prova di delaminazione delle superfici di incollaggio*).

I cambiamenti introdotti da questa norma riguardano: la classificazione della resistenza meccanica a trazione delle tavole, la modifica dei valori di resistenza meccanica e moduli di elasticità, nonché l'introduzione di due nuove classi per il legno lamellare GL20 e GL22 e l'eliminazione della classe GL36, sia per il legno omogeneo che combinato. Si hanno così sette classi di resistenza sia per lamellare omogeneo sia per quello combinato.

Le classi previste per il lamellare sono:

- *Lamellare omogeneo*: GL 20h, GL 22h, GL 24h, GL 26h, GL 28h, GL 30h, GL 32h;
- *Lamellare combinato*: GL 20c, GL 22c, GL 24c, GL 26c, GL 28c, GL 30c, GL 32c.

TIPI DI LEGNO E RELATIVE CLASSI DI RESISTENZA

1.1. Tipi di legno

La normativa in vigore individua per l'uso strutturale due tipi di legname:

- legno massiccio;
- legno lamellare.

1.1.1. Legno massiccio

Per legno massiccio strutturale s'intende il prodotto ottenuto dal legno tondo tramite taglio parallelo al tronco ed eventuale piallatura, senza superfici incollate e senza giunti a pettine.

In funzioni delle dimensioni si distinguono:

- listelli;
- tavole o lamelle;
- tavoloni;
- legname squadrato.

In linea generale la distinzione può essere operata come riportato in tabella:

Denominazione	Spessore d [mm]	Larghezza b [mm]
Listello	$6 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$	$b < 80 \text{ mm}$
Tavola	$6 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$	$b \geq 80 \text{ mm}$
Tavolone	$d > 40 \text{ mm}$	$b > 3 \cdot d$
Legname squadrato	$b \leq h \leq 3 \cdot b$	$b > 40 \text{ mm}$

Il legname squadrato è utilizzato in edilizia per pilastri e travi, formazione di capriate, piccola e grossa orditura dei tetti. Le essenze generalmente impiegate sono:

- *Conifere*: abete rosso, abete bianco, douglas, larice, pino;
- *Latifoglie*: castagno, faggio, noce, pioppo, quercia, rovere.

Altri due importati elementi di legno massiccio sono le cosiddette travi *Uso Trieste* e *Uso Fiume*, entrambi realizzati con l'abete rosso. Sono ottenuti tramite: scortecciatura, squadratura meccanica, angoli smussati, grezzi o piallati per tutta la lunghezza. Le due tipologie si differenziano per la costanza delle dimensioni trasversali nelle *Uso Fiume*, mentre in quella *Uso Trieste* la trave segue la conicità del tronco da cui è ricavata. In genere quest'ultima si usa nelle carpenterie mentre la *Uso Fiume* nella realizzazione di tetti a vista o lavori architettonicamente impegnativi.

Questi elementi strutturali in termini di prestazioni meccaniche differiscono rispetto ai normali segati da costruzione. Nelle travi *Uso Trieste* o *Uso Fiume* si ha un miglioramento delle caratteristiche meccaniche dovuto alla conservazione delle fibre legnose. Di contro tali travi sono posti in opera con un elevato tasso di umidità che ne abbassa le prestazioni meccaniche e incrementa le deformazioni in fase di esercizio.

VERIFICA DELLA RESISTENZA STRUTTURALE

Il legno è un materiale di origine biologica e pertanto le sue caratteristiche fisiche e il suo comportamento meccanico sono strettamente legati all'anatomia della pianta di provenienza. All'interno del tronco, idealmente cilindrico, si individuano tre direzioni principali (longitudinale, radiale e circonferenziale) a cui corrispondono tre sezioni (trasversale, radiale e tangenziale), per ognuna delle quali è possibile definire caratteristiche morfologiche differenziate e caratteristiche fisiche e meccaniche molto variabili, che conferiscono al materiale uno spiccato comportamento anisotropo.

Le caratteristiche naturali del legno (presenza di nodi, inclinazione della fibratura, presenza di cretti, presenza di legno di reazione, ...) possono rappresentare da un punto di vista strutturale dei difetti che vanno debitamente considerati procedendo ad una accurata selezione e classificazione e, ove possibile, contemplati nei calcoli.

La principale caratteristica fisica che influenza le prestazioni del legno è rappresentata dal comportamento igroscopico, connesso alla capacità di assorbire e rilasciare umidità all'atmosfera circostante.

Per quanto riguarda la durabilità, particolare attenzione verrà posta alla sensibilità del legno al biodegradamento, principalmente per azione di funghi ed insetti xilofagi.

La resistenza alla rottura del legno, quindi, dipende anche dal grado di umidità dello stesso: a valori più alti di umidità corrisponde una minore resistenza alla rottura. I valori di resistenza a rottura riportate nelle norme sono, normalmente, riferiti ad una umidità relativa dell'aria del 65% e ad una temperatura di 20 gradi. È necessario, pertanto, conoscere l'ambiente climatico dove andrà a prestare servizio la struttura che vogliamo calcolare.

Per tener conto della sensibilità del legno alla variazione di umidità e dell'influenza di questa sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità, le NTC 2018 individuano 3 classi di servizio, come riportate nella tabella. Ovviamente tali classi sono da intendersi come condizioni operative ordinarie, scostamenti per breve tempo non fanno mutare la classe di servizio.

Classe di servizio 1	Caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con ambiente a una temperatura di 20 °C ed un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	Caratterizzata da un'umidità dei materiali in equilibrio con ambiente a una temperatura di 20 °C ed un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	Condizioni climatiche che prevedono umidità più elevate di quelle della classe di servizio 2.

Operativamente, possiamo traslare le classi di servizio alle seguenti situazioni reali:

AZIONI SULLE COSTRUZIONI E LORO COMBINAZIONE**3.1. Pesì propri dei materiali strutturali**

Per la determinazione dei pesi propri strutturali dei più comuni materiali possono essere assunti i valori dei pesi dell'unità di volume riportati nella Tab. 3.1.I delle NTC 2018:

Pesi dell'unità di volume dei principali materiali (Tab. 3.1.I NTC 2018)

Materiali	Peso specifico [kN/m^3]
Calcestruzzo ordinario	24,00
Calcestruzzo armato o precompresso	25,00
Malta di calce	18,00
Malta di cemento	21,00
Sabbia	17,0
Tufo vulcanico	17,00
Calcere tenero	22,00
Calcere compatto	26,00
Legname di conifere e pioppo	4,0÷6,0
Legname di latifoglie (escluso pioppo)	6,0÷8,0

3.2. Carichi permanenti non strutturali

Sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro, ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti. Essi devono essere valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti. In linea di massima, in presenza di orizzontamenti anche con orditura unidirezionale ma con capacità di ripartizione trasversale, i carichi permanenti portati ed i carichi variabili potranno assumersi, per la verifica d'insieme, come uniformemente ripartiti. In caso contrario, occorre valutarne le effettive distribuzioni. I tramezzi e gli impianti leggeri di edifici per abitazioni e uffici possono assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, purché i solai abbiano adeguata capacità di ripartizione trasversale.

3.2.1. Elementi divisori interni

Sugli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_{2k} , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del

CARICO DOVUTO ALLA NEVE CON ESEMPIO PRATICO DI CALCOLO

4.1. Azioni della neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_s è il carico neve sulla copertura;
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura;
- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo [kN/m^2], fornito per un periodo di ritorno di 50 *anni*;
- C_E è il coefficiente di esposizione;
- C_t è il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

4.2. Valore di riferimento del carico della neve al suolo

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona. In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 *m* sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 *anni*. Va richiamato il fatto che tale zonazione non può tenere conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente. L'altitudine di riferimento a_s è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio.

Per altitudini superiori a 1500 *m* sul livello del mare si dovrà fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 *m*.

I valori caratteristici minimi del carico della neve al suolo sono quelli riportati di seguito.

Zona I – Alpina	
Province	Valore minimo del carico della neve al suolo
Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \text{ } a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2 \text{ } a_s > 200 \text{ m}$

CARICO DOVUTO AL VENTO SECONDO LE NTC 2018 CON ESEMPIO PRATICO DI CALCOLO

5.1. Azioni del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti.

Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

Nel caso di costruzioni o elementi di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenti esercitate dal vento. L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio per le torri a base quadrata o rettangolare, si deve considerare anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

Per le costruzioni di forma o tipologia inusuale, oppure di grande altezza o lunghezza, o di rilevante snellezza e leggerezza, o di notevole flessibilità e ridotte capacità dissipative, il vento può dare luogo ad effetti la cui valutazione richiede l'uso di metodologie di calcolo e sperimentali adeguate allo stato dell'arte e che tengano conto della dinamica del sistema.

5.2. Velocità di riferimento

La velocità di riferimento v_b è il valore medio della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo con lunghezza di rugosità $Z_0 = 0,05$ m (categoria di esposizione II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni. In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

dove:

- $v_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata in funzione della zona in cui sorge la costruzione;
- c_a è il coefficiente di altitudine.

Il coefficiente c_a si ricava dalle relazioni:

$$c_a = 1 \quad \text{per} \quad a_s \leq a_0$$

COSTRUZIONI IN LEGNO

L'impostazione generale relativa alla valutazione della sicurezza delle strutture di legno di nuova costruzione può essere utilizzata anche per le strutture di legno esistenti purché si provveda ad una attenta valutazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del legno con metodi di prova diretti o indiretti. I calcoli, riferiti alle reali dimensioni geometriche degli elementi in sito, terranno opportunamente conto dei difetti del legno, degli eventuali stati di degrado, delle condizioni effettive dei vincoli e dei collegamenti.

Con riferimento alle procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti, particolare attenzione va posta per le costruzioni antiche di rilevante interesse storico per le quali risulti rilevante l'interesse per il mantenimento dei materiali originali, e per le quali si giustifica l'impiego di prove e criteri di valutazione che tengano conto anche delle prestazioni dimostrate dagli elementi strutturali nel corso della storia dell'opera.

6.1. La valutazione della sicurezza

Il legno è un materiale di origine biologica e pertanto le sue caratteristiche fisiche e il suo comportamento meccanico sono strettamente legati all'anatomia della pianta di provenienza. All'interno del tronco, idealmente cilindrico, si individuano tre direzioni principali (longitudinale, radiale e circonferenziale) a cui corrispondono tre sezioni (trasversale, radiale e tangenziale), per ognuna delle quali è possibile definire caratteristiche morfologiche differenziate e caratteristiche fisiche e meccaniche molto variabili, che conferiscono al materiale uno spiccato comportamento anisotropo.

Le caratteristiche naturali del legno (nodi, inclinazione della fibratura, cretti, legno di reazione, ...) possono rappresentare da un punto di vista strutturale dei difetti che vanno debitamente considerati procedendo ad una accurata selezione e classificazione e, ove possibile, contemplati nei calcoli.

La principale caratteristica fisica che influenza le prestazioni del legno è rappresentata dal comportamento igroscopico, connesso alla capacità di assorbire e rilasciare umidità all'atmosfera circostante. Per quanto riguarda la durabilità, particolare attenzione verrà posta alla sensibilità del legno al biodegradamento, principalmente per azione di funghi ed insetti xilofagi.

La definizione degli stati limite, sia in condizioni ultime che nelle condizioni di esercizio, tiene perciò conto di tali specifiche caratteristiche del materiale.

6.2. Analisi strutturale

La individuazione degli schemi strutturali non può prescindere dal reale comportamento delle singole membrature e dei collegamenti nelle varie fasi costruttive, anche in relazione alle imper-

VERIFICHE DI RESISTENZA CON ESEMPI DI CALCOLO

7.1. Verifiche di resistenza

Le tensioni interne si possono calcolare nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e di una relazione lineare tra tensioni e deformazioni fino alla rottura. Le prescrizioni del presente paragrafo si riferiscono alla verifica di resistenza di elementi strutturali in legno massiccio o di prodotti derivati dal legno avente direzione della fibratura coincidente sostanzialmente con il proprio asse longitudinale e sezione trasversale costante, soggetti a sforzi agenti prevalentemente lungo uno o più assi principali dell'elemento stesso. A causa dell'anisotropia del materiale, le verifiche degli stati tensionali di trazione e compressione si devono eseguire tenendo conto dell'angolo tra direzione della fibratura e direzione della tensione.

7.1.1. Trazione parallela alla fibratura

Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

dove:

- $\sigma_{t,0,d}$ tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura calcolata sulla sezione netta;
- $f_{t,0,d}$ resistenza di calcolo, determinata tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente k_h , come definito nei §§ 1.2 e 1.2.2.

Nelle giunzioni di estremità si dovrà tener conto dell'eventuale azione flettente indotta dall'eccentricità dell'azione di trazione attraverso il giunto: tali azioni secondarie potranno essere computate, in via approssimata, attraverso una opportuna riduzione della resistenza di calcolo a trazione.

7.1.2. Trazione perpendicolare alla fibratura

Nella verifica degli elementi si dovrà opportunamente tener conto del volume effettivamente sollecitato a trazione. Per tale verifica si dovrà far riferimento a normative di comprovata validità. Particolare attenzione dovrà essere posta nella verifica degli elementi soggetti a forze trasversali applicate in prossimità del bordo.

7.1.3. Compressione parallela alla fibratura

Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

dove:

- $\sigma_{c,0,d}$ è la tensione di calcolo a compressione parallela alla fibratura;
- $f_{c,0,d}$ è la corrispondente resistenza di calcolo.

VERIFICA AGLI STATI LIMITI DI ESERCIZIO

Le deformazioni di una struttura, dovute agli effetti delle azioni applicate, degli stati di coazione e delle variazioni di umidità devono essere contenute entro limiti accettabili, sia in relazione ai danni che possono essere indotti ai materiali di rivestimento, ai pavimenti, alle tramezzature e, più in generale, alle finiture, sia in relazione ai requisiti estetici e sia alla funzionalità dell'opera.

Considerando il particolare comportamento reologico del legno e dei materiali derivati dal legno, si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine. La deformazione istantanea si calcola usando i valori medi dei moduli elastici per le membrature. La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1+k_{def})$.

$$E_{m,0,mean,f} = \frac{E_{m,0,mean}}{(1+k_{def})}$$

Per una trave semplicemente appoggiata agli estremi si ha:

$$W_{ist,dif} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot \frac{1}{(1+k_{def})} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \cdot (1+k_{def})$$

Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale. I valori di K_{def} sono riportati nella tabella 4.4.V delle NTC 2018, di cui si riporta uno stralcio.

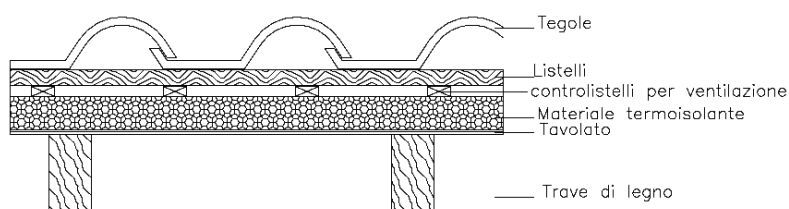
Tabella 8.1. Valori di K_{def} per legno e prodotti strutturali a base di legno (Tabella 4.4.V NTC18)

Materiale	Classe di servizio 1	Classe di servizio 2	Classe di servizio 3
Legno massiccio	0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato	0,60	0,80	2,00

Dal punto di vista operativo le citate norme, al § 4.4.7 – Stati Limiti di Esercizio –, non danno nessuna indicazione su come effettuare il calcolo. Si limitano a dire che in mancanza di più precise indicazioni, la freccia istantanea dovuta ai soli carichi variabili nella combinazione rara sia inferiore a $L/300$, con L luce della trave; aggiungono che la freccia finale sia inferiore a $L/200$. Per l'operatività del calcolo della freccia finale rimanda a documenti di comprovata validità riportati al capitolo 12; tra di questi documenti si trovano: *Istruzioni e documenti tecnici del Con-*

TETTI IN LEGNO

In genere questo tipo di copertura è formato dal cosiddetto *pacchetto del tetto* (tegole, listelli porta-tegola, eventuale controlistello per areazione, coibentazione di vario tipo, eventuale barriera al vapore, tavolato) sostenuto da una serie di travi di legno chiamata *grossa orditura*. Schematicamente abbiamo la seguente sezione:



Questo tipo di copertura è detta *discontinua* a causa della soluzione di continuità che presenta lo strato di copertura finale (tegole). Esse, tra l'altro, concretizzano la tenuta alla pioggia solamente per valori di pendenza adeguata, in base al materiale impiegato e alle condizioni ambientali.

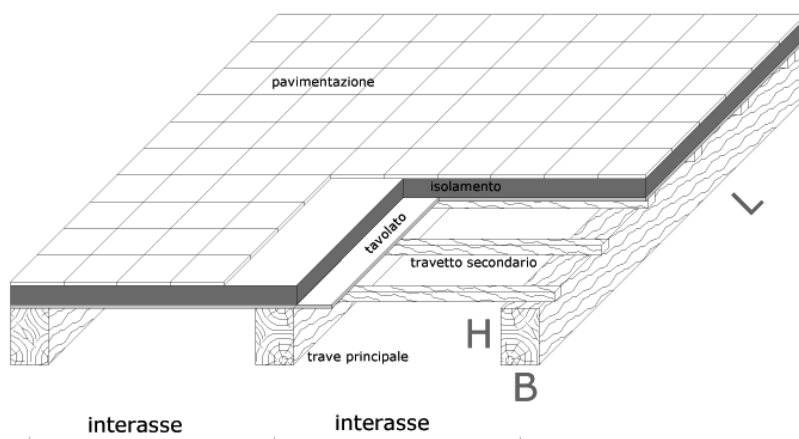
Il piano che contiene la copertura è chiamato *falda del tetto*.

Le varie parti del tetto sono:

Linea di displuvio	Linea orizzontale o inclinata, risultante dall'intersezione di due falde con pendenze divergenti.
Linea di compluvio	Linea orizzontale o inclinata, risultante dall'intersezione di due falde con pendenze convergenti.
Linea di gronda	Linea orizzontale terminale del tetto, in basso, ove si posa il canale per la raccolta delle acque meteoriche.
Linea di colmo	Linea risultante dall'intersezione delle falde alla sommità del tetto.
Grembiule	Elemento che garantisce la tenuta all'acqua nel raccordo tra manto di copertura e corpi emergenti.
Conversa	Elemento che garantisce la tenuta all'acqua in corrispondenza dei compluvi.
Scossalina	Elemento che garantisce la tenuta all'acqua in corrispondenza delle linee di bordo.
Canale di gronda	Elemento per la raccolta dell'acqua piovana corrispondente alla linea di gronda.
Pluviale	Elemento per lo scarico incanalato dell'acqua piovana.
Doccione	Elemento per lo scarico a dispersione dell'acqua piovana.
Monta del tetto	È il dislivello fra le linee di gronda e di colmo.

ESEMPIO DI CALCOLO TETTO PIANO IN LEGNO

Effettuiamo calcolo di un tetto piano in legno. Questo sia composto come indicato nel disegno in appresso riportato. L'edificio dove realizzare il tetto sia ubicata in Sicilia, è posto nell'interno entro i 40 km della costa, con altimetria di 300 m s.l.m.. La zona dove sorgerà l'edificio sia in aperta campagna, battuta dai venti, e con altezza prevista in progetto è di 4 metri. La classe di servizio è 1 in quanto il sottotetto è all'interno dell'edificio. Le dimensioni delle travi, del tavolato e i relativi carichi sono riportati nei tabulati di calcolo delle pagine seguenti.

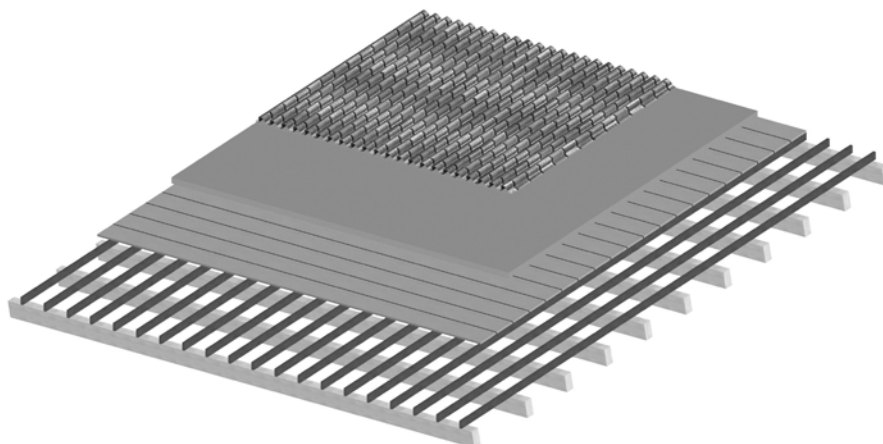


DATI PRINCIPALI DEL SOLAIO

Travi principali	
Luce trave:	500,00 cm
Interasse:	70,00 cm
Base:	14,00 cm
Altezza:	22,00 cm
Travicelli secondari	
Interasse:	50,00 cm
Base:	6,00 cm
Altezza:	8,00 cm
Tavolato	
Base:	30,00 cm
Altezza:	3,00 cm

ESEMPIO DI CALCOLO TETTO A FALDA IN LEGNO

Facciamo ora un esempio considerando il tetto inclinato di 30° . Questo sia composto come indicato nel disegno in appresso riportato. L'edificio dove realizzare il tetto sia ubicato in Sicilia, e posto nell'interno entro i 40 km della costa, con altimetria di 300 m s.l.m. . La zona dove sorgerà l'edificio sia in aperta campagna e l'altezza prevista in progetto è di 4 m . Le dimensioni delle travi, del tavolato e i relativi carichi sono riportati nei tabulati di calcolo delle pagine seguenti. La classe di servizio è la 2.



DATI PRINCIPALI DEL SOLAIO

Travi principali	
Luce trave:	500,00 cm
Interasse:	70,00 cm
Base:	14,00 cm
Altezza:	22,00 cm
Travicelli secondari	
Interasse:	50,00 cm
Base:	6,00 cm
Altezza:	8,00 cm
Tavolato	
Base:	30,00 cm
Altezza:	3,00 cm

INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO

12.1. Note sul software incluso

Il software incluso¹ esegue il calcolo di tetti piani o inclinati in legno lamellare e massiccio. Caratteristiche principali del software sono:

- Il software dispone di un database con le classi di resistenza per legno massiccio di conifera e pioppo, legno massiccio di latifoglia, legno lamellare omogeneo e combinato, secondo le classi di resistenza delle UNI EN 14080:2013 e UNI EN 338:2016.
- La tipologia strutturale considerata prevede le travi principali, le travi secondarie e un tavolato.
- L'orditura delle travi principali è considerata parallela alla linea di gronda.
- Il software sviluppa tutte le combinazioni di carico e la verifica tiene conto del coefficiente correttivo dell'effetto sui parametri di resistenza, la durata del carico e la classe di esposizione.
- Il software effettua verifica a flessione retta o deviata e a taglio per gli Stati Limiti Ultimi e per deformazione istantanea e a lungo termine per gli Stati Limiti di Esercizio.
- La stampa comprende: relazione preliminare; analisi dei carichi; calcolo del carico della neve e del vento; combinazione dei carichi; calcolo delle caratteristiche di sollecitazione; verifica; piano di manutenzione.

12.2. Requisiti hardware e software

- Processore da 2.00 GHz;
- MS Windows Vista/7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore);
- MS .Net Framework 4 e vs. successive;
- 250 MB liberi sull'HDD;
- 2 GB di RAM;
- MS Word 2007 e vs. successive;
- Accesso ad internet e browser web.

12.3. Download del software e richiesta della password di attivazione

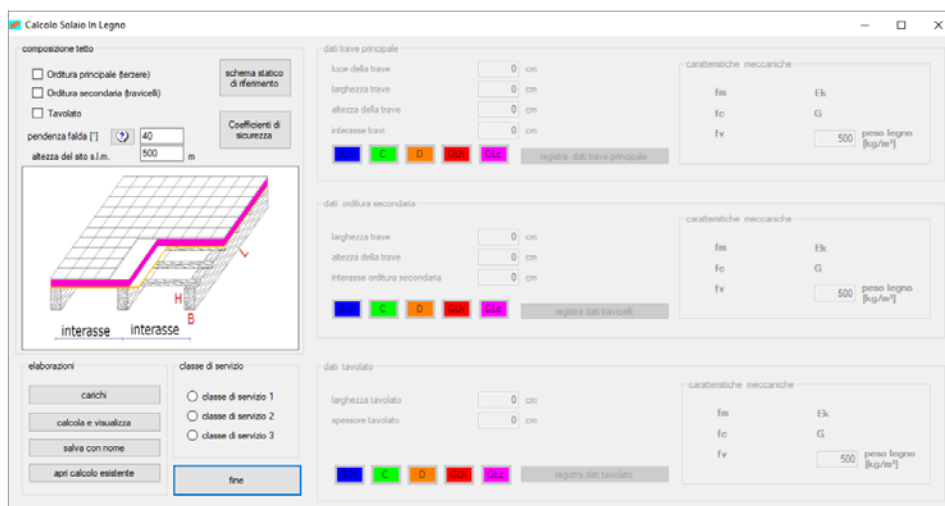
1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

http://www.grafill.it/pass/989_5.php

¹ Il software incluso è parte integrante della presente pubblicazione e resterà disponibile nel menu **G-cloud** dell'area personale del sito **www.grafill.it**.

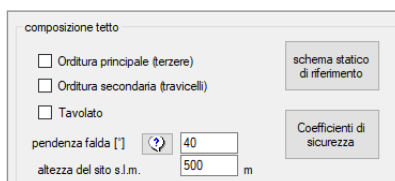
MANUALE DEL SOFTWARE INCLUSO

La schermata principale del software è composta da diverse sezioni che contengono i comandi necessari alla gestione.



13.1. Composizione tetto

La sezione **composizione tetto** contiene due caselle di testo nelle quali inserire la pendenza della falda, se diversa da zero, e l'altezza del sito sul livello del mare.



Sono presenti, inoltre, tre opzioni che permettono di inserire nel tetto l'orditura principale, quella secondaria ed il tavolato. Quando una delle tre opzioni è selezionata, nel box relativo apparirà una memo in giallo ad indicare che la stessa è inserita nella struttura.

Con l'ausilio del pulsante  è disponibile una guida al calcolo della pendenza della falda in gradi, ove non si dispone di tale valore.

