

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**

GRAFILL

Stefano Cascio
SOLAI E TETTI IN LEGNO LAMELLARE E MASSICCIO

ISBN 13 978-88-8207-412-8
EAN 9 788882 074128

Software, 53
Prima edizione, gennaio 2011

Cascio, Stefano <1950->
Solai e tetti in legno lamellare e massiccio / Stefano Cascio.
– Palermo : Grafill, 2011.
(Software ; 53)
ISBN 978-88-8207-412-8
1. Solai in legno.
694.2 CDD-22 SBN Pal0230886
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **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 gennaio 2011

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

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. CONSIDERAZIONI NORMATIVE	"	11
1.1. Tipi di legno	"	11
1.1.1. Legno massiccio	"	11
1.1.2. Legno lamellare	"	12
1.2. Classi di resistenza	"	14
1.2.1. Classificazione sulla base delle proprietà delle lamelle	"	16
1.2.2. Attribuzione diretta in base a prove sperimentali	"	16
2. VERIFICA DELLA RESISTENZA STRUTTURALE	"	20
3. AZIONI SULLE COSTRUZIONI E LORO COMBINAZIONE.....	"	25
3.1. Pesi propri dei materiali strutturali.....	"	25
3.2. Carichi permanenti non strutturali.....	"	25
3.2.1. Elementi divisori interni	"	26
3.3. Carichi variabili	"	26
3.3.1. Carichi variabili orizzontali	"	27
3.4. Classificazione delle azioni	"	28
3.5. Caratterizzazione delle azioni elementari.....	"	29
3.6. Combinazioni delle azioni.....	"	29
3.7. Azioni nelle verifiche agli stati limite	"	30
3.8. Vita nominale	"	31
4. CARICO DOVUTO ALLA NEVE		
CON ESEMPIO PRATICO DI CALCOLO	"	32
4.1. Azioni della neve.....	"	32
4.2. Valore caratteristico del carico neve al suolo	"	32
4.3. Coefficiente di esposizione	"	33
4.4. Coefficiente termico	"	34
4.5. Carico neve sulle coperture	"	34
4.6. Coefficiente di forma per le coperture.....	"	34
4.6.1. Coperture adiacenti o vicine a costruzioni più alte.....	"	35

4.6.2.	Copertura ad una falda.....	p.	36
4.6.3.	Copertura a due falde.....	"	37
4.6.	Esempio pratico di calcolo del carico neve.....	"	38
5.	CARICO DOVUTO AL VENTO SECONDO LE NTC 2008		
	CON ESEMPIO PRATICO DI CALCOLO	"	40
5.1.	Azioni del vento	"	40
5.2.	Velocità di riferimento.....	"	40
5.3.	Velocità di riferimento e periodo di ritorno.....	"	41
5.4.	Pressione del vento.....	"	42
5.5.	Pressione cinetica di riferimento	"	42
5.6.	Coefficiente di esposizione	"	43
5.7.	Coefficiente di forma (o aerodinamico).....	"	45
5.7.1.	Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve	"	45
5.7.2.	Coperture multiple.....	"	47
5.7.3.	Vento diretto normalmente alle linee di colmo.....	"	47
5.7.4.	Vento diretto parallelamente alle linee di colmo	"	47
5.7.5.	Tettoie e pensiline isolate.....	"	47
5.8.	Coefficiente dinamico	"	48
5.9.	Azione tangenziale del vento	"	48
5.10.	Particolari precauzioni progettuali	"	48
5.10.1.	Effetti torsionali.....	"	49
5.10.2.	Distacco di vortici.....	"	49
5.10.3.	Fenomeni di natura aeroelastica	"	49
5.11.	Esempio pratico di calcolo azione del vento.....	"	50
6.	CARICO DOVUTO AL VENTO SECONDO LE CNR 2009	"	54
6.1.	Velocità di riferimento.....	"	54
6.1.2.	Periodo di ritorno e velocità di riferimento di progetto.....	"	55
6.2.	Periodo di ritorno di progetto	"	56
6.3.	Pressione cinetica di riferimento	"	56
6.4.	Coefficiente di esposizione	"	57
6.4.1.	Categoria di Esposizione	"	57
6.4.2.	Coefficiente di topografia.....	"	59
6.5.	Azioni aerodinamiche.....	"	60
6.5.1.	Pressione su ciascuna faccia di una superficie	"	60
6.5.2.	Pressione complessiva su una superficie	"	61
6.5.3.	Forze e momenti risultanti.....	"	61
6.5.4.	Forze e momenti per unità di lunghezza.....	"	62
6.6.	Coefficienti aerodinamici globali.....	"	62
6.6.1.	Pareti laterali.....	"	63
6.6.2.	Altezza di riferimento per la faccia sopravento.....	"	64

6.6.3.	Altezza di riferimento per le facce sottovento e laterali.....	p.	65
6.6.4.	Coperture piane.....	"	65
6.6.5.	Coperture a semplice falda.....	"	66
6.6.6.	Coperture a doppia falda.....	"	66
6.6.7.	Coperture a padiglione.....	"	67
6.6.8.	Coperture a falde multiple.....	"	68
6.6.9.	Pressione interna.....	"	70
6.6.10.	Edifici con percentuale di aperture maggiore del 30%.....	"	71
6.6.11.	Edifici con una superficie dominante.....	"	74
6.6.12.	Edifici con distribuzione uniforme di aperture.....	"	74
6.6.13.	Azioni tangenti.....	"	75
7.	COSTRUZIONI IN LEGNO.....	"	76
7.1.	La valutazione della sicurezza.....	"	76
7.2.	Analisi strutturale.....	"	76
7.3.	Azioni e loro combinazioni.....	"	77
7.4.	Classi di durata del carico.....	"	77
7.5.	Classi di servizio.....	"	77
7.6.	Resistenza di calcolo.....	"	78
7.7.	Stati limite di esercizio.....	"	78
7.8.	Stati limite ultimi.....	"	78
7.8.1.	Verifiche di resistenza.....	"	78
7.8.2.	Verifiche di stabilità.....	"	78
7.9.	Collegamenti.....	"	79
7.10.	Elementi strutturali.....	"	80
7.11.	Sistemi strutturali.....	"	80
7.12.	Robustezza.....	"	81
7.13.	Durabilità.....	"	81
7.14.	Resistenza al fuoco.....	"	82
8.	VERIFICHE DI RESISTENZA CON ESEMPI DI CALCOLO.....	"	83
8.1.	Verifiche di resistenza.....	"	83
8.1.1.	Trazione parallela alla fibratura.....	"	83
8.1.2.	Trazione perpendicolare alla fibratura.....	"	83
8.1.3.	Compressione parallela alla fibratura.....	"	83
8.1.4.	Compressione perpendicolare alla fibratura.....	"	84
8.1.5.	Compressione inclinata rispetto alla fibratura.....	"	84
8.1.6.	Flessione.....	"	84
8.2.	Esempio di calcolo di una trave soggetta a flessione retta.....	"	85
8.3.	Esempio di calcolo della dimensione di una trave soggetta a flessione semplice.....	"	88
8.4.	Esempio di calcolo di una trave soggetta a flessione deviata.....	"	88
8.5.	Esempio di verifica a taglio di una trave soggetta a flessione semplice.....	"	91

8.6.	Esempio di verifica a instabilità della trave semplicemente appoggiata.....	p.	94
8.7.	Esempio di verifica a instabilità del pilastro	"	97
9.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO		
	CON ESEMPIO DI CALCOLO	"	100
9.1.	Verifica agli stati limite d'esercizio.....	"	100
9.2.	Norme specifiche per elementi inflessi	"	101
9.3.	Esempio di calcolo della deformazione.....	"	102
10.	TETTI IN LEGNO.....	"	104
11.	CALCOLO TETTO PIANO IN LEGNO	"	108
12.	CALCOLO TETTO A FALDA IN LEGNO.....	"	129
13.	GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE.....	"	153
13.1.	Introduzione al software allegato	"	153
13.2.	Requisiti minimi hardware e software.....	"	153
13.3.	Procedura per la richiesta della password utente.....	"	153
13.4.	Procedura per l'installazione del software	"	154
13.5.	Procedura per la registrazione del software	"	154
14.	UTILIZZO DEL SOFTWARE	"	155
14.1.	Finestra composizione tetto.....	"	155
14.2.	Finestra dati geometrici e meccanici dei materiali.....	"	156
14.3.	Inserimento dei carichi	"	157
	LICENZA D'USO	"	159
	SCHEDA DI REGISTRAZIONE (Codici "A" e "B").....	"	160

Introduzione

L'ingegnere, nel suo lavoro quotidiano, si cimenta con tutta una serie di materiali, naturali e artificiali, che sono impiegati per realizzare una costruzione edilizia. Lo scegliere uno dei tanti materiali al posto di un altro, per realizzare una data costruzione o una parte di essa, dipende dalle particolari proprietà (resistenza, colore, costo, durabilità, ecc.) che lo fanno preferire agli altri a secondo l'utilizzo previsto.

Il legno strutturale è il più antico materiale da costruzione utilizzato dall'uomo per le proprie costruzioni sia di carattere civile (muri e tetti della propria casa) che militare (palizzate di difesa, torri d'assedio, ecc.).

Oggi, l'utilizzo di questo materiale è disciplinato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni pubblicate il 14 gennaio 2008 (*Gazzetta Ufficiale* n. 29 del 4 febbraio 2008), che da qui avanti, per brevità e comodità, indicheremo con NTC 2008 o semplicemente NTC.

Queste nuove norme furono approvate ad eccezione delle tabelle 4.4.III e 4.4.IV e del Capitolo 11.7 (i capitoli che trattano del legno), in riferimento al parere circostanziato emesso dall'Austria ai sensi dell'articolo 9.2 della direttiva 98/34/CE, secondo il quale la misura proposta avrebbe presentato aspetti che avrebbero potuto eventualmente creare ostacoli alla libera circolazione dei servizi o alla libertà di stabilimento degli operatori di servizi nell'ambito del mercato interno.

Successivamente è stato pubblicato, nella *Gazzetta Ufficiale* n. 153 del 2 luglio 2008, il Decreto Ministeriale del 6 maggio 2008 del Ministero delle Infrastrutture, recante l'integrazione al decreto 14 gennaio 2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni con cui si approva il capitolo 11.7 e le tabelle 4.4.III e 4.4.IV delle stesse.

Le Norme Tecniche per le costruzioni così integrate hanno definitivamente sdoganato il legno strutturale, dal limbo dove era confinato, ridandogli la dignità di onesto e vantaggioso materiale da costruzione. Le NTC 2008 ora dicono in maniera forte che il legno è "materiale da costruzione" come il conglomerato cementizio o l'acciaio. Ne segue che al pari degli altri materiali da costruzione è inserito nel contesto normativo per essere progettato (calcoli di progetto, calcoli di verifica, e infine collaudato).

I principali punti di riferimento normativo sono:

PARAGRAFO	CONTENUTO
4.4	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.

segue →

PARAGRAFO	CONTENUTO
7.7	La norma illustra i provvedimenti specifici da adottare, in presenza di azioni sismiche, finalizzandoli alla progettazione e costruzione delle opere nuove.
11.7	Si danno istruzioni sulla l'identificazione, qualificazione, e l'accettabilità del prodotto "legno strutturale"; modalità di assunzione delle resistenze meccaniche.

Alle NTC 2008 vanno affiancate le cosiddette "norme di prodotto" che servono a definirne le proprietà meccaniche.

Essenzialmente queste sono:

- UNI EN 14081 (legno strutturale con sezione rettangolare, classificato secondo la resistenza);
- UNI EN 14080 (legno lamellare);
- UNI EN 338 (Legno strutturale. Classi di resistenza);
- UNI EN 1912 (Legno strutturale. Classi di resistenza. Assegnazione delle categorie visuali e delle specie);
- UNI EN 1194 (Legno lamellare incollato. Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici);
- UNI 11035 (attualmente in corso di revisione, anche per includere le cosiddette travi Uso Fiume e Uso Trieste).

Utile anche la consultazione del documento CNR DT 206:2007 – Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno.

Questa norma ci dà l'insieme delle operazioni necessarie a verificare che l'elemento stesso sia convenientemente proporzionato e staticamente idoneo a svolgere la funzione cui è destinato. Si tratta cioè di applicare i principi e le regole della scienza delle costruzioni. In sostanza dobbiamo effettuare il calcolo dell'elemento per la determinazione di sforzi, sollecitazioni, resistenze, deformazioni, sezioni minime, coefficienti di sicurezza e altro. In questo testo ci occuperemo del calcolo strutturale dell'elemento di legno che vogliamo realizzare.

In generale tutti i materiali ed i prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle NTC 2008, devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

<i>Identificati</i>	Univocamente a cura del produttore o dal centro di lavorazione.
<i>Qualificati</i>	Sotto la responsabilità del fornitore (produttore o centro di lavorazione).
<i>Accettati</i>	Dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

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

- A. Materiali e prodotti per uso strutturale per i quali sia disponibile una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su G.U.U.E. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se in possesso della Marcatura CE, prevista dalla Direttiva 89/106/CEE "Prodotti da costruzione" (CPD), recepita in Italia dal decreto del Presidente della Repubblica 21 aprile 1993, n. 246, così come modificato dal decreto del Presidente della Repubblica 10 dicembre 1997, n. 499.

- 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 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 innovativi o comunque non citati nel capitolo 11 delle NTC e non ricadenti in una delle tipologie A) o B). In tali casi il produttore potrà pervenire alla Marcatura CE in conformità a Benestare Tecnici Europei (ETA), ovvero, in alternativa, dovrà essere in possesso di un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Ad eccezione di quelli in possesso di Marcatura CE, possono essere impiegati materiali o prodotti conformi ad altre specifiche tecniche qualora dette specifiche garantiscano un livello di sicurezza equivalente a quello previsto nelle presenti norme. Tale equivalenza sarà accertata attraverso procedure all'uopo stabilite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sentito lo stesso Consiglio Superiore.

Per i materiali e prodotti recanti la Marcatura CE sarà onere del Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, verificare il possesso della marcatura stessa e richiedere ad ogni fornitore, per ogni diverso prodotto, il Certificato ovvero Dichiarazione di Conformità alla parte armonizzata della specifica norma europea ovvero allo specifico Benestare Tecnico Europeo, per quanto applicabile. Sarà inoltre onere del Direttore dei Lavori verificare che tali prodotti rientrino nelle tipologie, classi e/o famiglie previsti nella detta documentazione.

Per i prodotti non recanti la Marcatura CE, il Direttore dei Lavori dovrà accertarsi del possesso e del regime di validità dell'Attestato di Qualificazione (caso B) o del Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego (caso C) rilasciato del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Per il legno massiccio non segato vale il caso del paragrafo B. Infatti, la norma di riferimento per il legno massiccio è *"EN 14081-1:2005 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements"*.

La Direttiva Prodotti da Costruzione 89/106 prescrive la marcatura CE di tutti i prodotti interessati. Nel caso dei prodotti strutturali a base di legno sono attualmente previste le seguenti tipologie:

- legno massiccio a sezione rettangolare, marcatura secondo EN 14081 obbligatoria da settembre 2012;
- legno lamellare incollato, marcatura secondo EN 14080 obbligatoria da dicembre 2011.

L'entrata in vigore della EN 14081 è prevista al primo settembre 2012. Fino a tale data, quindi, il produttore può dotarsi di marcatura CE oppure, in alternativa, può utilizzare le procedure di qualificazione indicate dalle NTC 2008 (in ogni caso a partire dal 1 luglio 2009, è obbligato a fornire materiale certificato, e quindi classificato).

Il Direttore dei Lavori nel caso d'utilizzo di legno strutturale effettua il controllo d'accettazione redigendo il relativo certificato. Generalmente la fornitura in cantiere è effettuata da commercianti o trasformatori. In questo caso la DL dovrà acquisire:

- a) certificato di qualificazione del prodotto del Servizio Tecnico Centrale sul quale deve essere riportato il riferimento del documento di trasporto accompagnato da una documentazione relativa alle caratteristiche tecniche del prodotto (legno massiccio) con l'aggiunta, nel caso di legno lamellare, degli estremi di qualificazione del produttore secondo la norma UNI EN 9001;

b) riferimento al documento di trasporto del commerciante stesso o del trasformatore intermedio in maniera da documentarne la provenienza anche in assenza di marchiatura.

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 2008).

Nel caso di non conformità rispetto a quanto sopra indicato, il Direttore dei Lavori è tenuto a rifiutare la fornitura (paragrafo 11.3.1.5 delle NTC 2008). 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 2008).