

Angelo Longo

Calcolo di solai misti legno-calcestruzzo con il software Floor

ANALISI, PROGETTAZIONE STRUTTURALE E DISEGNO DI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO

- Solai con travetti in legno e solette in calcestruzzo
- Caratteristiche dei solai legno-calcestruzzo
- Proprietà del legno e del calcestruzzo
- Particolari costruttivi
- Schemi e metodi di calcolo
- Verifiche agli SLU e agli SLE
- Relazioni di calcolo
- Disegni esecutivi con rappresentazione e dettaglio delle armature
- AGGIORNATO ALLE NTC 2018 (D.M. 17 GENNAIO 2018)
E ALLA CIRCOLARE APPLICATIVA N. 7 DEL 21 GENNAIO 2019

SOFTWARE INCLUSO

FLOOR – SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO (VERSIONE STANDARD)
ANALISI, PROGETTAZIONE STRUTTURALE E DISEGNO DI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO,
IN CONFORMITÀ ALLE NTC 2018 E ALLA CIRCOLARE APPLICATIVA N. 7/2019



Angelo Longo

CALCOLO DI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO CON IL SOFTWARE FLOOR

Ed. I (02-2020)

ISBN 13 978-88-277-0100-3

EAN 9 788827 701003

Collana **Software** (127)

Longo, Angelo <1961->
Calcolo di solai misti legno-calcestruzzo con il software Floor /
Angelo Longo. – Palermo : Grafill, 2020.
(Software ; 127)
ISBN 978-88-277-0100-3
1. Solai misti – Calcolo – Impiego [di] Programmi per computer.
624.170285 CDD-23 SBN Pal0323611
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

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare nel mese di febbraio 2020

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.

SOMMARIO

PREFAZIONE	p.	7
PARTE PRIMA		
TEORIA DI CALCOLO	"	9
1. METODO AGLI STATI LIMITE	"	11
1.1. Introduzione	"	11
1.2. Sicurezza e prestazioni attese	"	12
1.3. Classi d'Uso e Vita Nominale.....	"	13
1.4. Criteri di verifica agli Stati Limite	"	15
1.5. Stati Limite di Esercizio	"	18
1.6. Stati Limite Ultimi	"	20
1.7. Combinazione azioni sismiche con altre azioni.....	"	22
2. IL LEGNO E IL CALCESTRUZZO	"	23
2.1. Il legno	"	23
2.1.1. Tipologie di legno per usi strutturali.....	"	23
2.1.2. Proprietà del materiale	"	26
2.1.3. Modello costitutivo	"	31
2.2. Il calcestruzzo	"	33
2.2.1. Proprietà del materiale	"	34
2.2.2. Modello costitutivo	"	36
2.2.3. Calcestruzzo confinato	"	41
2.2.4. Variazioni termiche	"	42
2.2.5. Classe di consistenza.....	"	43
2.2.6. Classe di esposizione	"	44
3. CARATTERISTICHE DEI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO	"	49
3.1. Generalità.....	"	49
3.2. Tipologie di collegamento	"	50
3.2.1. I connettori a piolo e ramponi.....	"	52
3.2.2. I connettori con vite inclinata e piastra a cuneo.....	"	52
3.2.3. I connettori con vite tirafondo e piastra stabilizzatrice	"	53
3.3. Particolari costruttivi.....	"	54
3.3.1. Dettagli sezioni solai misti legno-calcestruzzo	"	54

3.3.2.	Dettagli dei collegamenti fra solai e muri di bordo	p.	60
3.3.3.	Distanze minime fra gli elementi	"	62
3.3.4.	Dettaglio apertura su solaio misto legno-calcestruzzo	"	63
4.	CALCOLO DEI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO	"	65
4.1.	La sezione composta: alcune considerazioni	"	65
4.2.	Analisi dei carichi	"	67
4.2.1.	Ipotesi di carico sui solai agli Stati Limite	"	67
4.2.2.	Combinazioni per lo Stato Limite Ultimo	"	68
4.2.3.	Combinazioni per lo Stato Limite di Esercizio	"	70
4.3.	Teorie di calcolo delle strutture composte	"	72
4.3.1.	Connessione con rigidità nulla	"	73
4.3.2.	Connessione con rigidità infinita	"	74
4.3.3.	Connessione parziale o semirigida	"	76
4.4.	Metodo di Möhler	"	77
5.	CALCOLO DEI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO	"	81
5.1.	Premessa	"	81
5.2.	Verifiche allo Stato Limite Ultimo	"	81
5.2.1.	Verifica a flessione	"	82
5.2.2.	Verifica a taglio	"	83
5.2.3.	Verifica a taglio del connettore	"	84
5.3.	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio	"	85
5.3.1.	Verifica di deformazione	"	85
5.3.2.	Verifica delle tensioni di esercizio	"	86
PARTE SECONDA			
	MANUALE SOFTWARE	"	87
6.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE		
	FLOOR – SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO	"	89
6.1.	Presentazione del software	"	89
6.2.	Requisiti hardware e software	"	89
6.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	90
6.4.	Installazione ed attivazione del software	"	90
6.5.	Aggiornamenti ed assistenza	"	92
7.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE		
	FLOOR – SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO	"	93
7.1.	Interfaccia del software	"	93
7.2.	Avvio del software	"	94
7.2.1.	Creare un nuovo progetto	"	94
7.2.2.	Aprire un progetto esistente	"	95

7.3.	Gestione dei menu	p.	95
7.3.1.	La barra dei menu	"	95
7.3.2.	Selezione di una voce dal menu	"	96
7.4.	La barra dei comandi frequenti	"	96
7.5.	Le componenti standard	"	97
7.5.1.	Le Tabelle	"	98
7.5.2.	Input grafico-interattivo	"	99
7.6.	Configurazione stampanti	"	100
7.7.	Help in linea	"	101
8.	SINTESI DELLE FASI PRINCIPALI		
	DEL SOFTWARE FLOOR – SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO ...	"	102
8.1.	Fasi operative	"	102
8.2.	Gestione degli Archivi	"	102
8.3.	Input progetto	"	104
8.4.	Analisi progetto	"	105
8.5.	Output progetto	"	106
8.6.	Guida rapida dei comandi	"	107
	PARTE TERZA		
	VALIDAZIONE SOFTWARE E STAMPE	"	111
9.	ESEMPIO E VALIDAZIONE SOFTWARE	"	113
9.1.	Generalità	"	113
9.2.	Esempio applicativo	"	114
9.3.	Stampe elaborati di calcolo	"	114
	ESEMPIO APPLICATIVO	"	115
	STAMPE DEGLI ELABORATI DI CALCOLO	"	125
	BIBLIOGRAFIA, NORME TECNICHE E SITOGRAFIA	"	161

PREFAZIONE

Il presente volume si configura come una guida teorico-pratica per l'analisi, la progettazione strutturale e il disegno di solai misti legno-calcestruzzo, in conformità alle NTC 2018 di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e della Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7, recante «*Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*».

Parte integrante della pubblicazione è il software **Floor – Solai misti legno-calcestruzzo**, specifico per l'analisi, la progettazione strutturale e il disegno di solai misti legno-calcestruzzo, in conformità alle NTC 2018 (di cui al D.M. 17 gennaio 2018) e alla Circolare applicativa n. 7 del 21 gennaio 2019.

Il metodo di calcolo per le caratteristiche della sollecitazione è quello agli Elementi Finiti (FEM). L'elemento finito è di tipo monodimensionale (BEAM). Viene assunto uno schema di calcolo a trave continua su più appoggi e le condizioni di carico previste provengono da tutte le possibili combinazioni dei carichi variabili, studiati per ottenere i valori massimi delle caratteristiche della sollecitazione in mezzera e agli appoggi. I risultati delle verifiche sono ottenuti inviando tutte le condizioni di carico prese in considerazione. Verifiche e dimensionamento vengono effettuati in ciascuna sezione, considerando una sezione mista legno-calcestruzzo di larghezza unitaria. Per ogni sezione il software effettua le verifiche a breve ed a lungo termine, in funzione della sollecitazione agenti.

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo restituisce in output i risultati delle elaborazioni sia mediante tabulati, di facile lettura e pratica consultazione, con la compilazione automatica delle relazioni (conformi alle NTC 2018), sia mediante elaborati grafici stampabili. Il software è inoltre corredato da una pratica guida in cui vengono fornite le indicazioni e le istruzioni necessarie per acquisire dimestichezza nel minor tempo possibile.

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo evidenzia spiccate caratteristiche di interattività e si propone come strumento di analisi integrato per la progettazione, avente cioè tutte le funzioni necessarie per seguire l'intero iter progettuale, dalla ricerca interattiva del dimensionamento ottimale degli elementi, alla stampa della relazione e dei disegni esecutivi.

Il testo della presente guida è strutturato in tre parti:

- Nella **prima parte (Teoria di calcolo)** si richiamano i concetti generali che stanno alla base dei metodi di verifica della sicurezza, con particolare attenzione per il metodo agli Stati Limite. Vengono successivamente descritte le proprietà fisico-meccaniche dei materiali che costituiscono i solai oggetto del testo: il legno ed il calcestruzzo. Definite la tecnologia costruttiva dei solai misti legno-calcestruzzo, le tipologie di connessione ed individuate alcune soluzioni relative ai dettagli costruttivi, nella guida viene affrontato il metodo di calcolo comprensivo di analisi dei carichi e criteri di progettazione. Ampio spazio viene dedicato alle verifiche agli Stati Limite Ultimi e di Esercizio, seguendo

l'approccio proposto dalla CNR-DT 206 R1/2018 e conformemente alle NTC 2018 e all'EC5, tenendo conto degli effetti a breve ed a lungo termine.

- Nella **seconda parte** (*Manuale software*) sono fornite indicazioni e istruzioni per l'utilizzo del software **Floor – Solai misti legno-calcestruzzo**, al fine di acquisirne dimestichezza nel minor tempo possibile. Dopo una dettagliata descrizione sulle modalità di installazione e registrazione, necessaria per acquisire la licenza all'utilizzo del software, si passa alla spiegazione delle principali funzionalità, partendo dalla gestione dei comandi, fino alla descrizione delle fasi di lavoro necessarie per la modellazione, l'analisi, l'elaborazione e la stampa dei risultati. Il software, sviluppato dalla *S.I.S. Software Ingegneria Strutturale*, è concepito e realizzato specificatamente per il dimensionamento e la verifica agli Stati Limite di solai con travetti in c.a. gettati in opera, prefabbricati ed in legno, e dispone di un input semplice ed intuitivo che consente di modellare, in poche mosse, solai sia orizzontali che inclinati, con o senza sbalzi di estremità, e restituisce i risultati tramite la stampa dei disegni esecutivi e delle relazioni, in un pratico formato e conformi a quanto disposto dalle vigenti NTC 2018.
- Nella **terza parte** (*Validazione software e stampe*) viene dato ampio spazio alla validazione e affidabilità del software, la cui documentazione è fornita, a corredo dello stesso, in ottemperanza a quanto prescritto dal Capitolo 10 delle NTC 2018, rubricato *Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo*. Detta documentazione contiene, oltre una esauriente descrizione delle basi teoriche e del metodo di calcolo impiegato, anche l'individuazione dei possibili campi di impiego del software e l'elaborazione di casi prova, interamente svolti e commentati, a cui è possibile fare riferimento, per accertare l'attendibilità dei calcoli svolti. Si ricorda, infatti, che le norme vigenti prescrivono che è obbligo del progettista esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software, per valutare l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico di applicazione, tenendo conto delle ipotesi che stanno alla base della modellazione. Infine sono anche riportate, a titolo di esempio, alcune stampe degli elaborati forniti in output dal software, una volta eseguito il calcolo strutturale.

Angelo Longo

METODO AGLI STATI LIMITE

1.1. Introduzione

I progressi tecnologici, cui abbiamo assistito nell'ultimo ventennio, hanno profondamente modificato anche la progettazione strutturale. Infatti, grazie anche al notevole contributo fornito da enti e organizzazioni internazionali di studio e di ricerca, i concetti fondamentali sulla sicurezza delle strutture, hanno compiuto sensibili progressi, fornendo un sostanziale contributo nel promuovere il processo di unificazione delle fondamentali regole per il calcolo strutturale nell'ingegneria civile.

L'insieme di queste regole costituisce il punto di partenza per raggiungere quello che oggi è considerato il principale obiettivo che si prefigge la progettazione strutturale, ovvero quello di garantire un adeguato livello di sicurezza di qualunque opera di ingegneria.

A voler ribadire questa nuova concezione di sicurezza, in uno scenario di apprezzabile consenso da parte degli addetti ai lavori e radicalmente cambiato rispetto al passato, le nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018, pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 42 del 20 febbraio 2018, d'ora in poi indicato con NTC 2018), la relativa Circolare applicativa (Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 (pubblicata nella *Gazzetta Ufficiale* n. 35 dell'11 febbraio 2019, d'ora in poi chiamata Circolare n. 7/2019) e gli Eurocodici, trovano nel metodo agli Stati Limite lo strumento più adatto per raggiungere la sicurezza strutturale mediante l'applicazione pratica di metodi di verifica semplificati.

L'approccio del metodo agli Stati Limite è di tipo semiprobabilistico, ovvero consente di effettuare una verifica che abbia una valenza probabilistica ma sia eseguita seguendo la stessa metodologia utilizzata in situazioni *deterministiche*. Un'altra sua importante caratteristica è quella di verificare la struttura, sia rispetto alla crisi strutturale (Stato Limite Ultimo S.L.U.), che ha carattere irreversibile, sia rispetto al superamento di certi requisiti di sicurezza, che la costruzione deve garantire in esercizio, che può avere carattere di tipo reversibile o irreversibile (per cui si parla di Stato Limite di Esercizio S.L.E.). In particolare, tale modalità di approccio, per la verifica e/o il progetto delle sezioni, prevede che vengano amplificati i carichi e definite le resistenze dei materiali come valori di progetto, ridotti rispetto ai valori caratteristici, mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza.

La verifica della sicurezza con il metodo agli Stati Limite si attua confrontando tra loro due grandezze omogenee, siano esse sollecitazioni o deformazioni:

- la prima grandezza rappresenta la domanda di prestazione rivolta alla struttura da parte delle azioni esterne cui è sottoposta e si indica generalmente con E_d ;
- la seconda grandezza rappresenta la capacità di prestazione che la struttura è in grado di fornire e si indica con R_d .

In particolare, misurare la sicurezza vuol dire verificare che sia soddisfatta la seguente relazione: $E_d \leq R_d$.

1.2. Sicurezza e prestazioni attese

La sicurezza strutturale di una costruzione, in funzione della sua utilizzabilità e del fine per il quale viene pensata e progettata, è intesa come probabilità che ha la struttura di sopportare certe azioni, da valutarsi per via probabilistica, considerato che sia le resistenze dei materiali, che le azioni agenti sono quantità aleatorie e pertanto non definibili con certezza.

Inoltre, la stessa concezione di sicurezza strutturale non è solo funzione della resistenza ultima della struttura, ma anche – e soprattutto – della sua funzionalità in condizioni di normale utilizzo e della sua durabilità nel tempo. Le strutture e gli elementi strutturali, difatti, devono essere progettati, eseguiti, collaudati e soggetti a manutenzione in modo da consentire la prevista utilizzazione, per tutta la vita utile di progetto ed in forma economicamente sostenibile, in base al livello di sicurezza previsto dalle norme.

Alla luce dei suddetti criteri, la sicurezza di un'opera e le sue prestazioni devono essere valutate in relazione agli Stati Limite che si possono verificare durante la vita di progetto (definita Vita Nominale). Per Stato Limite si intende, in generale, quella determinata situazione, superata la quale, l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

Il D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018) stabilisce i requisiti di sicurezza che le costruzioni devono garantire nei confronti degli Stati Limite Ultimi, quali crolli e dissesti gravi (che possano cioè compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni e provocare gravi danni ambientali e sociali), oltre a porre l'attenzione sui livelli di accettabilità che una struttura deve garantire, in termini di azioni alle quali dovrà essere sottoposta, sia in fase di realizzazione che di normale esercizio, nonché sui costi e sulle procedure di manutenzione in funzione della sua vita utile. Si parla, dunque, di condizioni che dovranno essere soddisfatte per scongiurare la crisi ultima (sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi) ed anche di condizioni, legate all'uso quotidiano della struttura, per *rimanere adatta all'uso* (sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio).

Le NTC 2018 ribadiscono, inoltre, tre requisiti che devono possedere le opere strutturali:

- 1) *sicurezza antincendio*;
- 2) *durabilità*;
- 3) *robustezza*.

La *sicurezza antincendio* è raggiunta progettando e realizzando le costruzioni in modo da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti, nonché limitando con opportuni accorgimenti la propagazione del fuoco e dei fumi.

La *durabilità* viene garantita progettando la costruzione in modo tale che il degrado della struttura che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto. Tale requisito dipende da diversi fattori, tra cui, tenendo conto delle previste condizioni ambientali e di manutenzione, la scelta opportuna dei materiali, il dimensionamento opportuno delle strutture e dei dettagli costruttivi.

La *robustezza* è la capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali (esplosioni, urti). Tale requisito viene garantito facendo ricorso a diverse strategie di progettazione, tra cui la realizzazione di strutture quanto più ridondanti, resistenti e/o duttili possibile.

La Circolare n. 7/2019 approfondisce il tema della robustezza strutturale, affermando che il livello di robustezza effettivo di una costruzione dipende anche, ed in modo non trascurabile, dalle peculiarità del progetto, ed è estremamente complesso quantificare attraverso prescrizio-

IL LEGNO E IL CALCESTRUZZO

2.1. Il legno

Il legno è **materiale da costruzione** che si ricava dal tronco degli alberi. In termini tecnici, è l'elemento costitutivo di una pianta ed è presenta una struttura disomogenea composta da fibre longitudinali disposte in anelli concentrici lungo l'asse del tronco. Questi diversi anelli sono attraversati da raggi midollari, mentre le fibre si alternano a vasi linfatici o canali della resina. Questa struttura conferisce al legno una tipica porosità diffusa in modo disomogeneo; infatti alle parti più compatte fanno riscontro altre particolarmente dure (nodi) o discontinuità (fenditure).

I diversi legni presentano strutture molte diverse che ne condizionano le proprietà e li rendono adatti a svariati impieghi. In generale i tipi di legno, detti **essenze**, sono riconducibili a gruppi di caratteristiche simili:

- **essenze forti** (o dure) di rilevante massa volumica e notevoli caratteristiche meccaniche e durezza;
- **essenze dolci** (o tenere) più leggere, tenere e poco resistenti;
- **essenze resinose** (ricche di sostanze resinose).

Si tratta di un materiale con ottime caratteristiche di **robustezza** e **resistenza**, ampiamente usato dall'uomo fin dall'antichità. A differenti specie di legno corrispondono differenti proprietà: diverso colore, diversa densità e diverse caratteristiche della venatura.

Il legno, pur con differenze discrete tra i diversi tipi, presenta:

- **resistenza a trazione** discreta lungo le fibre, minore trasversalmente a esse;
- **resistenza a compressione** discreta, che anche in questo caso è superiore lungo le fibre;
- **resistenza a taglio** modesta trasversalmente alle fibre, pessima lungo le fibre;
- **resistenza a flessione** buona trasversalmente alle fibre;
- **durezza** molto variabile tra i diversi tipi (dalla balsa scalfibile con un'unghia, ai duri bosso e noce).

In genere il legno ha una buona **elasticità**, cioè torna alla forma iniziale al cessare del carico, soprattutto se sollecitato a flessione. Le prove di resistenza vengono eseguite con procedimenti analoghi a quelle sui materiali metallici, ma con provette di forma diversa e con chiara distinzione della direzione delle sollecitazioni rispetto alle fibre.

2.1.1. Tipologie di legno per usi strutturali

I materiali e i prodotti derivati dal legno per usi strutturali possono essere molteplici, tra cui:

- a) legno massiccio;
- b) legno massiccio incollato (con giunti a dita);
- c) legno lamellare incollato;
- d) elementi di micro-lamellare;
- e) pannelli di legno massiccio (SWP);

- f) pannelli di tavole incrociate (X-lam);
- g) pannelli a base di legno:
 - pannelli di compensato;
 - pannelli di scaglie orientate (OSB);
 - pannelli di particelle;
 - pannelli di fibre;
- h) pannelli di micro-lamellare (LVL).

Secondo l'elenco precedente, i prodotti a base legnosa più comunemente impiegati per la realizzazione di solai con struttura portante il legno (ovvero la tipologia strutturale oggetto del presente testo) sono *a)*, *b)*, *c)* ed *f)*.

Per **legno massiccio** (cfr. figura 2.1) si intendono i segati destinati alle strutture portanti, ricavati da tondame tramite taglio parallelo al tronco oppure tramite piallatura, che non sono stati né incollati né giuntati a dita. Si distinguono – a seconda delle dimensioni – listelli, tavolame, legname squadrato, ecc..



Figura 2.1. Esempio di legno massiccio

Il legno massiccio per usi strutturali è classificato secondo la resistenza a vista o a macchina conformemente alla UNI EN 14081. Ogni singolo elemento viene classificato in dimensioni d'uso, prima della sua messa in opera, al fine di garantire, attraverso l'assegnazione di un profilo prestazionale (che raggruppa le proprietà fisico-meccaniche pertinenti), le caratteristiche meccaniche minime statisticamente determinare, senza necessità di ulteriori prove sperimentali e verifiche.

Per elementi di legno strutturale in **legno massiccio incollato con giunti a dita a tutta sezione** (cfr. figura 2.2), in aggiunta a quanto indicato per il legno massiccio, è necessaria la conformità alla UNI EN 15497.

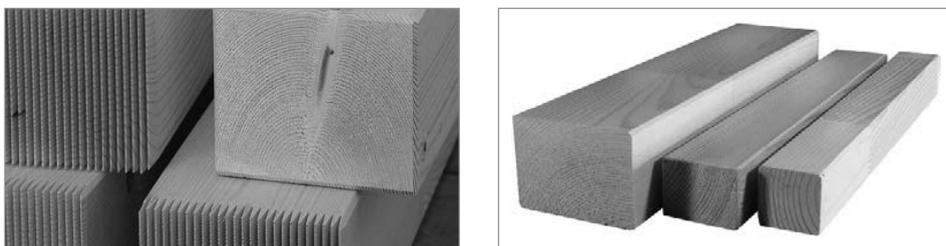


Figura 2.2. Esempio di legno massiccio incollato con giunti a dita

CARATTERISTICHE DEI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO

3.1. Generalità

I solai misti calcestruzzo-legno rappresentano una delle soluzioni tecniche di copertura o di orizzontamento d'interpiano. Il loro utilizzo riguarda sia le nuove strutture che il consolidamento di quelle esistenti.

In questo ambito, le norme attuali alle quali riferirsi sono:

- l'UNI EN 1995-1-1 (Eurocodice 5);
- il D.M. 17 gennaio 2018 (Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni) e la relativa Circolare applicativa n. 7 del 21 gennaio 2019;
- la CNR-DT 206 R1/2018.

Le NTC 2018, in relazione alle caratteristiche che gli impalcati devono possedere affinché ripartiscano le azioni sismiche, impongono precise specifiche che un solaio in legno, da solo, non possiede. In tal senso, una soletta di calcestruzzo di adeguato spessore, da solidarizzare con le travi di legno, costituisce la giusta soluzione tecnica. E tale soluzione tecnica risulta essere anche la più idonea per migliorare le prestazioni meccaniche, funzionali e di adeguamento sismico, dei solai lignei esistenti.

Infatti, i vecchi solai in legno esigono spesso interventi di rinforzo ed irrigidimento in quanto realizzati per sopportare carichi modesti; presentano quasi sempre deformabilità e vibrazioni eccessive rispetto le attuali esigenze. L'intervento con il calcestruzzo collaborante è evita la necessità di dover sostituire completamente il solaio e permette di non modificare molto l'altezza dell'impalcato. Invece, i nuovi solai di legno, per essere abbastanza resistenti e rigidi, necessitano di sezioni di travi elevate. In entrambi i casi la sovrapposizione alla struttura in legno di una sottile soletta di calcestruzzo, adeguatamente armata e connessa, consente per i vecchi solai un cospicuo aumento di resistenza e rigidezza e per quelli nuove sezioni delle travi decisamente più modeste.

Al fine di assicurare una adeguata solidarietà, funzionale alla staticità del solaio, l'interposizione dei connettori tra le travi di legno e la soletta di calcestruzzo è necessaria per consentire ai due materiali di collaborare tra loro; il risultato sarà una struttura solidale dove, per effetto dei carichi verticali, il calcestruzzo risulterà prevalentemente compresso ed il legno prevalentemente teso.

Le travi sono, in genere, poste ad intervalli regolari e il loro interasse rappresenta la dimensione geometrica della fascia di solaio utilizzata per il dimensionamento. Il tavolato (assito), prima della soletta, può presentare elementi interposti, in genere di isolamento termico e/o acustico, e, in ogni caso, un telo di protezione (funzionale durante la fase di getto della soletta).

Il solaio calcestruzzo-legno presenta un comportamento statico del tutto commisurabile ad altre tipologie di copertura, quali possono essere, ad esempio, i solai laterocementizi. Se la soletta è realizzata di adeguato spessore, dal punto di vista sismico, le azioni orizzontali sono ripar-

tite dalla struttura di calcestruzzo e le travi assolvono funzione stabilizzante. In tal senso, se la solidarizzazione con le strutture verticali è efficace si può ritenere garantito il comportamento scatolare previsto dalle norme attuali.

Un solaio calcestruzzo-legno è caratterizzato da diversi punti di forza:

- maggiore rigidezza rispetto al solo legno;
- minor peso, e quindi minore massa sismica, rispetto ad altre tipologie di solaio;
- migliore comportamento all'incendio rispetto al solo legno;
- funzioni di partizione in caso di incendio.

Le tipologie di solaio realizzabili sono molteplici: in questa sede si analizzeranno solo alcune di esse, quelle di maggiore interesse pratico.

Una rappresentazione sommaria e semplificativa di quanto detto è riportata nella seguente figura 3.1.

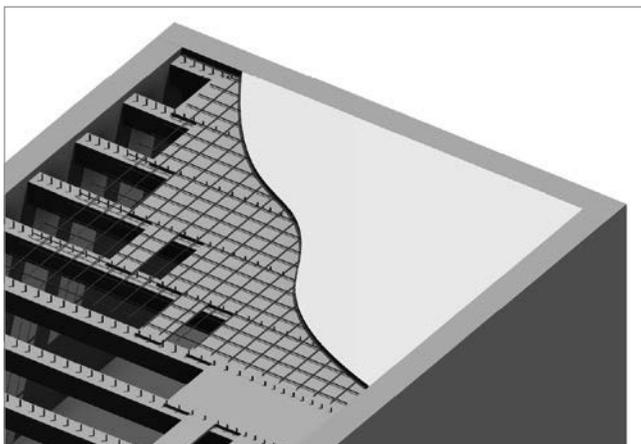


Figura 3.1. Esempio di solai in legno-calcestruzzo

3.2. Tipologie di collegamento

L'irrigidimento dei solai in legno, sia antichi che di nuova costruzione, mediante messa in opera di soletta di calcestruzzo collaborante, richiede la presenza di adeguati sistemi di connessione atti a trasferire gli sforzi di taglio fra soletta e orditura lignea.

I connettori contrastano lo scorrimento relativo fra i due materiali con la propria resistenza e rigidezza; essendo quest'ultima non infinita, nei solai misti dotati di connettori lo scorrimento è limitato ma comunque presente.

Nel corretto calcolo dei solai misti è necessario considerare tale scorrimento, pertanto bisogna conoscere le caratteristiche di resistenza e rigidezza del connettore.

In generale le caratteristiche meccaniche della connessione dipendono: dalla eventuale interposizione di tavolato fra l'estradosso della trave di legno e l'intradosso della soletta in calcestruzzo; dalla classe di resistenza del legno, in particolare dalla massa volumica della classe.

Per realizzare la collaborazione tra il legno ed il calcestruzzo esistono in commercio varie tipologie di connessione. Fra le varie tipologie, quelle comunemente utilizzate sono:

CALCOLO DEI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO

4.1. La sezione composta: alcune considerazioni

Prima di addentrarsi nel calcolo di solaio misto legno-calcestruzzo, sotto l'azione dei carichi agenti, sono necessarie alcune considerazioni sul funzionamento delle sezioni composte.

L'impiego di sezioni miste legno-calcestruzzo rappresenta una valida alternativa all'utilizzo di soluzioni in laterocemento o acciaio-calcestruzzo.

Con la dicitura sezione composta si intende un elemento strutturale soggetto prevalentemente a sforzi di flessione costituito dai tre seguenti elementi strutturali:

- *trave in legno*: può essere in legno massiccio, legno lamellare, etc. e solitamente di forma circolare o rettangolare;
- *soletta in calcestruzzo armato*: è solitamente posizionata all'estradosso della trave in legno, o a contatto diretto o con interposto un tavolato;
- *connettori*: elementi di connessione annegati nel getto di calcestruzzo e vincolati meccanicamente alla trave in legno.

Il sistema è largamente utilizzato da decenni e ampiamente studiato sia dal punto di vista analitico che sperimentale.

La sezione composta ha una maggiore rigidità flessionale rispetto alla sola sezione resistente dei solai in legno tradizionali e quindi risulta possibile incrementare i carichi portati verticali senza incorrere in eccessivi effetti deformativi. Inoltre la soletta in calcestruzzo irrigidisce il solaio anche nel suo piano, il cosiddetto *effetto diaframma rigido*, quando adeguatamente collegata alle travi di bordo, consentendo una corretta trasmissione e ripartizione delle azioni sismiche alle pareti.

Per comprendere i vantaggi offerti da una soluzione costruttiva siffatta si osservi la figura 4.1 (cfr. pagina seguente), nella quale vengono mostrate:

- in alto una *struttura non interconnessa*;
- in basso una *struttura interconnessa rigidamente*.

Nel caso di struttura non interconnessa, non assicurando l'unione tra solaio e soletta, risulta un accoppiamento in parallelo della parte in calcestruzzo armato con la struttura e conseguente scorrimento reciproco nel piano orizzontale (la sezione ottenuta non è monolitica). La soletta rappresenta un carico permanente agente sul solaio esistente.

Il solaio, seppur irrobustito con la soletta in calcestruzzo, risulta *poco rigido* e con *deformazioni* (frecce) potenzialmente significative.

Nel caso di struttura interconnessa rigidamente, invece, si crea una vera e propria struttura mista con un'effettiva continuità strutturale. Il connettore ha la funzione di *cucire* assieme al solaio esistente e calcestruzzo impedendone lo scorrimento reciproco e assicurando un considerevole aumento della rigidità e della resistenza della struttura. Il diagramma delle tensioni evidenzia come le prestazioni dei materiali risultino ottimizzate: il calcestruzzo è tutto compresso,

la trave in legno interamente tesa. Il connettore lavora *a taglio*, moltiplicando il contributo statico dei due elementi, soletta in c.a. e trave in legno.

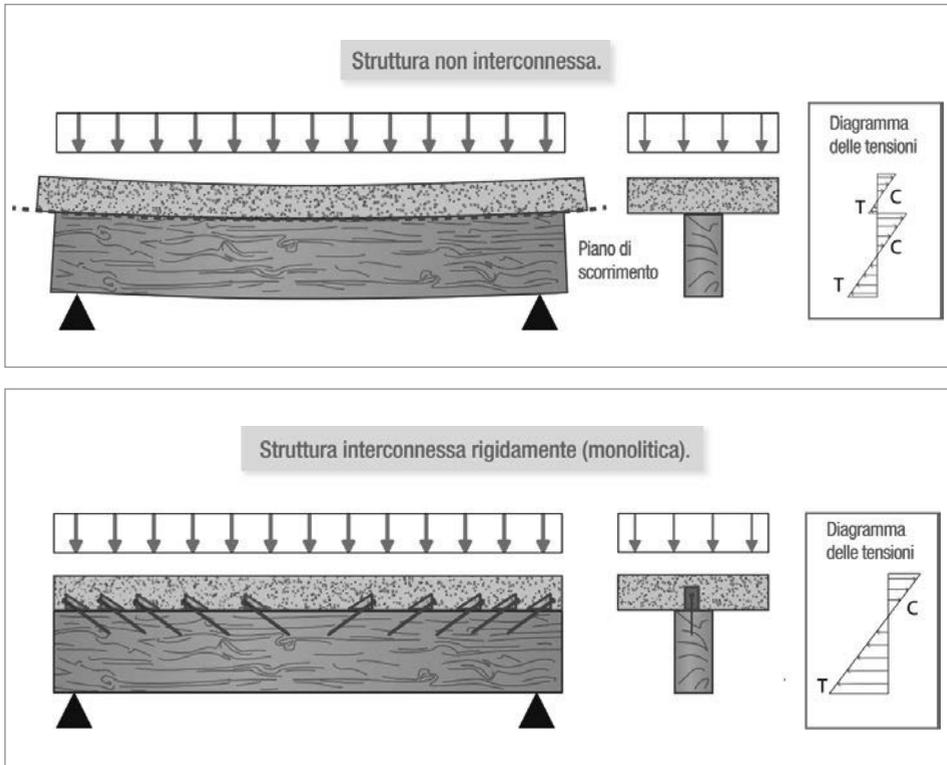


Figura 4.1. *Struttura non interconnessa, in alto, e struttura interconnessa rigidamente (monolitica), in basso*

Riassumendo, i vantaggi specifici delle sezioni composte legno-calcestruzzo sono:

- la soletta in calcestruzzo risulta soggetta a compressione, pertanto interamente reagente, mentre il legno è soggetto a trazione: in generale non si ha fessurazione del cls e si riesce ad ottenere una struttura più leggera rispetto al cemento armato;
- il calcestruzzo consente di aumentare la rigidità della struttura composta rispetto ad una struttura di solo legno;
- di conseguenza si ottiene una riduzione della freccia;
- le vibrazioni risultano ridotte;
- grazie al calcestruzzo è possibile ottenere una struttura molto rigida nel suo piano, importante nel caso di edifici in zona sismica;
- l'isolamento acustico aumenta rispetto al caso di struttura di solo legno;
- la resistenza al fuoco della struttura aumenta;
- il costo della struttura è competitivo con altre soluzioni;
- la tipologia in esame consente di aumentare i carichi di servizio conservando all'intradosso la struttura originaria in legno (vantaggio architettonico).

CALCOLO DEI SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO

5.1. Premessa

Le verifiche vengono effettuate calcolando prima la rigidezza equivalente della sezione composta (con il metodo di Möhler) sia in condizioni ultime (SLU) che in condizioni di esercizio (SLE). Tale procedimento verrà condotto sia a breve termine ($t = 0$) che a lungo termine ($t = \infty$) per entrambi gli stati limite.

Per $t = 0$ è possibile utilizzare i parametri di rigidezza così come normalmente vengono definiti. Invece, a causa delle maggiori deformazioni lente nel calcestruzzo rispetto al legno, le forze agenti tendono a migrare dal calcestruzzo al legno. In altre parole, le sollecitazioni diminuiscono nel calcestruzzo ed aumentano nel legno.

Pertanto, per $t = \infty$ i parametri di rigidezza dei rispettivi materiali devono essere corretti, così come indicato al punto 7.6.3 della CNR-DT 206 R1/2018 ed al punto 2.3 dell'Eurocodice 5.

5.2. Verifiche allo Stato Limite Ultimo

Le verifiche agli SLU per solai misti legno-calcestruzzo vengono condotte confrontando le tensioni massime agenti nella generica sezione trasversale con le resistenze dei materiali che compongono la medesima. Le suddette tensioni agenti nascono in seguito all'applicazione combinata dei carichi permanenti e variabili sul solaio. Nello specifico si considerano due combinazioni di azioni (riferite ad una fascia di solaio pari all'interasse tra le travi):

- combinazione delle azioni di «*breve termine*»: dove vengono combinati, con la combinazione fondamentale, i pesi propri e i sovraccarichi variabili;
- combinazione delle azioni di «*lungo termine*»: dove vengono combinati, con la combinazione fondamentale, solo i pesi propri senza sovraccarichi variabili.

La combinazione delle azioni che dà origine alle sollecitazioni maggiori non corrisponde sempre a quella con i carichi più alti. Infatti, i coefficienti k_{mod} per la valutazione della resistenza di calcolo del legno sono diversi nei due casi:

- 1) $k_{mod} = 0.80$ per la combinazione di «*breve termine*»;
- 2) $k_{mod} = 0.60$ per la combinazione «*permanente*»;

Per il calcolo dello stato tensionale si può assumere, in accordo con l'EC5, un modulo di scorrimento ridotto (modulo secante):

$$k_u = \frac{2}{3} k_{ser} \quad (5.1)$$

$$k_{ser} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \rho_m^{1.5} \cdot \phi_{conn}}{23} \quad (5.2)$$

dove:

- α è il coefficiente riduttivo che tiene conto del fatto che è presente un «gap» costituito dall'asito sollecitato ortogonalmente alla fibratura, che riduce la rigidezza di almeno il 30% (infatti si può assumere pari a 0.7);
- ρ_m è la massa volumica media della trave in legno;
- φ_{conn} è il diametro del connettore.

Gli effetti della viscosità sullo stato tensionale sono nulli se si considerano riduzioni nella stessa proporzione dei moduli elastici del legno e del calcestruzzo e del modulo di scorrimento. Anche i risultati sperimentali, seppur scarsi, non indicano variazioni nel tempo della resistenza ultima.

5.2.1. Verifica a flessione

Le NTC 2018 non forniscono alcuna indicazione specifica sulla procedura di verifica a flessione di una trave composta legno-calcestruzzo. L'Eurocodice 5 si limita a fornire un metodo per il calcolo delle tensioni allo SLU agenti su tali sezioni. Un valido contributo è invece offerto dalla CNR-DT 206 R1/2018, cioè le «Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture in Legno». Pertanto, ci si riferirà a quest'ultime linee guida.

Affinché la verifica di resistenza a flessione di una trave composta legno-calcestruzzo abbia esito positivo è necessario il rispetto di alcune condizioni esposte di seguito. Si precisa che, essendo la trave in esame soggetta solo a flessione nel piano xz , nelle suddette condizioni sarà omesso il contributo della flessione nel piano xy (cfr. figura 5.1). Inoltre, per convenzione si assumerà positiva la trazione e negativa la compressione.

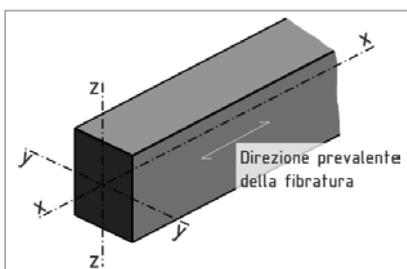


Figura 5.1. Riferimento locale della trave in legno

LATO CALCESTRUZZO

$$\sigma_{c,\text{sup}} \geq -f_{c,d} \quad (5.3)$$

$$\sigma_{t,\text{inf}} \leq f_{c,t,d} \quad (5.4)$$

dove:

- $\sigma_{c,\text{sup}}$ e $\sigma_{t,\text{inf}}$ sono rispettivamente le tensioni agenti nel lembo superiore compresso ed in quello inferiore della soletta in calcestruzzo;
- $f_{c,d}$ e $f_{c,t,d}$ sono le corrispondenti resistenze di progetto a compressione ed a trazione.

INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE FLOOR – SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO

6.1. Presentazione del software

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo¹ è un software specifico per l'analisi, la progettazione strutturale e il disegno di solai misti legno-calcestruzzo, in conformità alle NTC 2018 e alla Circolare applicativa n. 7/2019. Il metodo di calcolo per le caratteristiche della sollecitazione è quello agli Elementi Finiti (FEM). L'elemento finito è di tipo monodimensionale (BEAM). Viene assunto uno schema di calcolo a trave continua su più appoggi e le condizioni di carico previste provengono da tutte le possibili combinazioni dei carichi variabili, studiati per ottenere i valori massimi delle caratteristiche della sollecitazione in mezzera e agli appoggi. I risultati delle verifiche sono ottenuti involuando tutte le condizioni di carico prese in considerazione. Verifiche e dimensionamento vengono effettuati in ciascuna sezione, considerando una sezione mista legno-calcestruzzo di larghezza unitaria. Per ogni sezione il software effettua le verifiche a breve ed a lungo termine, in funzione della sollecitazione agenti.

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo restituisce in output i risultati delle elaborazioni sia mediante tabulati, di facile lettura e pratica consultazione, con la compilazione automatica delle relazioni (conformi alle NTC 2018), sia mediante elaborati grafici stampabili. Il software è inoltre corredato da una pratica guida in cui vengono fornite le indicazioni e le istruzioni necessarie per acquisire dimestichezza nel minor tempo possibile.

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo evidenzia spiccate caratteristiche di interattività e si propone come strumento di analisi integrato per la progettazione, avente cioè tutte le funzioni necessarie per seguire l'intero iter progettuale, dalla ricerca interattiva del dimensionamento ottimale degli elementi, alla stampa della relazione e dei disegni esecutivi.

6.2. Requisiti hardware e software

Il software **Floor – Solai misti legno-calcestruzzo** è progettato per sistemi operativi a 32 bit e 64 bit, con la seguente configurazione minima:

- Processore Intel Pentium IV a 2 GHz;
- MS Windows 7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore);
- 2 Gb di memoria RAM;
- Disco Fisso con almeno 100 Mb di spazio libero;
- Scheda Video 512 Mb di RAM;
- Monitor a colori 1024×768 (16 milioni di colori);
- Mouse con rotellina di scroll.

¹ **Floor – Solai misti legno-calcestruzzo** (Versione STANDARD) è un software sviluppato dalla S.I.S. *Software Ingegneria Strutturale*.

6.3. Download del software e richiesta della password di attivazione

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0100_3.php

- 2) Inserire i codici “A” e “B” (vedi ultima pagina del volume) e cliccare [**Continua**].
- 3) **Per utenti registrati** su www.grafill.it: inserire i dati di accesso e cliccare [**Accedi**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 4) **Per utenti non registrati** su www.grafill.it: cliccare su [**Iscriviti**], compilare il form di registrazione e cliccare [**Iscriviti**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 5) Un **link per il download del software** e una **password alfanumerica di attivazione** saranno inviati, in tempo reale, all’indirizzo e-mail comunicato.

6.4. Installazione ed attivazione del software

- 1) Scaricare il setup del software (file *.exe) cliccando sul link ricevuto per e-mail.
- 2) Installare il software facendo doppio-click sul file **88-277-0101-0.exe** e seguire i quadri informativi fino al completamento della procedura.
- 3) Avviare il software dal seguente percorso:

Per utenti MS Windows 7/8: [**Start**] > [**Tutti i programmi**] > [**SIS**] >
> [**Floor**] (cartella) > [**Floor.exe**] (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: [**Start**] > [**Tutte le app**] >
> [**Floor 2019**] (icona di avvio)

- 4) Al primo avvio verrà visualizzata la finestra *Informazioni su Floor*:



- 5) Cliccare su [**Registrazione**] e, nell’apposita finestra di registrazione, inserire i **dati utente** e il **codice utente**².

² Il **codice utente** è la *password alfanumerica di attivazione* (comprensiva di trattini “-”) ricevuta per e-mail (vedi punto 5) del paragrafo 6.3).

Denominazione	Ing. Mario Rossi
Stato	Italia
Citta'	Roma
Provincia	RM
Telefono	02123456
E-mail	mariorossi@ingegnere.it
Codice Utente	1XX-2XX-3XX-4

Indietro Avanti Annulla

- 6) Cliccando su **[Avanti]** verrà conclusa la registrazione (*la connessione internet deve essere attiva*) e si aprirà una finestra che riassume i dati di registrazione.

Registrazione completata
Conservare i dati per una possibile
reinstallazione del prodotto:

- Denominazione: Ing. Mario Rossi
- Stato: Italia
- Citta': Roma
- Provincia: RM
- Telefono: 02123456
- E-mail: mariorossi@ingegnere.it
- Codice Utente: 1XX-2XX-3XX-4

Indietro Fine Annulla

Si consiglia di conservare tali dati, al fine di poter effettuare, in un secondo momento e sullo stesso computer, nuove installazioni e registrazioni del prodotto.

- 7) Chiudere la finestra *Registrazione* cliccando su **[Fine]** e il software si avvierà mostrando l'ambiente di lavoro che approfondiremo nel capitolo che segue.

Si rende opportuno precisare che, con l'acquisto del volume, si avrà diritto ad utilizzare il software su un singolo posto di lavoro principale e su altre due postazioni di lavoro secondarie, su cui verranno visualizzate le stampe solo a video, fermo restando tutte le altre opzioni³. Per attivare le ulteriori postazioni di lavoro del software, è necessario ripetere l'intera operazione di registrazione, direttamente dalle altre postazioni.

³ Nella versione PRO di **Floor – Solai misti legno-calcestruzzo** è possibile anche esportare gli elaborati in formato .pdf e .dxf, oltre che utilizzare una seconda postazione dove è possibile visualizzare a video gli elaborati.

6.5. Aggiornamenti ed assistenza

I software **S.I.S. Software Ingegneria Strutturale** vengono aggiornati periodicamente, con la finalità di dare agli stessi sempre migliori caratteristiche e una continua affinità con le evoluzioni delle normative vigenti in tema di costruzioni.

L'acquisto di un software **S.I.S.** dà diritto al download e all'utilizzo gratuito degli aggiornamenti rilasciati con lo stesso numero di versione principale (ad es. chi ha acquistato la versione A, potrà utilizzare tutte le successive versioni A1, A2, ..., ma per utilizzare la versione B dovrà acquistare l'aggiornamento). L'installazione di una versione successiva, senza la necessaria registrazione, consentirà la valutazione del prodotto in versione di prova (o *demo*). Gli aggiornamenti sono a discrezione dell'utente ma è consigliabile effettuarli costantemente, in modo da operare con uno strumento performante e conforme agli standard normativi.

Aggiornamenti dei software e offerte commerciali sono disponibili sul sito internet della **S.I.S.** all'indirizzo **www.sis.ingegneria.it**. Inoltre, l'azienda mette a disposizione degli utenti un servizio di *Assistenza*, accessibile dall'area supporto sul sito internet della **S.I.S.** (per i clienti registrati) o via fax al numero 095 7122188.

INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE

FLOOR – SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO

7.1. Interfaccia del software

L'ambiente di lavoro del software si presenta con un'interfaccia in cui è possibile visualizzare le finestre grafiche del modello realizzato, che viene immediatamente visualizzata alla prima apertura del software, con un menu a discesa e barre strumenti dove sono presenti una serie di comandi, con cui è possibile accedere alle funzioni principali.



Figura 7.1. Schermata principale

La parte alta della finestra riporta il nome del software e quello del file corrente.

Il software è semplice da usare, sintetico nella richiesta dei dati e accurato sotto l'aspetto grafico sia in *Input* che, soprattutto, nell'*output*. Dispone di finestre dati che consentono la manipolazione ed il controllo dei valori numerici, di finestre grafiche di disegno e di finestre d'aiuto.

Il software è sviluppato sotto MS Windows e molti dei comandi sono di comune utilizzo per chi abitualmente opera nel suddetto ambiente di lavoro.

Sulla schermata principale è inoltre disponibile una comoda interfaccia grafica, comune alla maggior parte dei programmi in ambiente CAD, sulla quale si va a comporre via via il modello 3D dell'edificio, permettendo di visualizzare gli elementi definiti nella fase di *Input del progetto*. Nel caso invece in cui si apra un progetto già realizzato, l'immagine tridimensionale dell'edificio compare nella suddetta finestra grafica, come mostrato in figura 7.1.

L'utente ha a disposizione dei menu di comando accessibili dalla barra principale. Ogni comando è accessibile, durante la creazione del modello, senza una vera e propria sequenzialità di utilizzo dei comandi, fatta eccezione per alcuni di essi, che il software stesso provvede a non attivare, nel caso in cui si debbano rispettare delle specifiche propedeuticità di *Input di progetto*.

Le informazioni in entrata ed in uscita vengono visualizzate, all'attivazione di ciascun comando, mediante opportune finestre, all'interno delle quali sono contenute informazioni sotto forma di tabelle, o schede, ed integrate da un *Input grafico-interattivo*.

L'ambiente di lavoro prevede inoltre un **Help in linea**, sensibile al contesto, che può essere richiamato ogni qual volta si desideri un'informazione sul comando che si sta utilizzando, premendo da tastiera il comando **[F1]** che permette di visualizzare una finestra di aiuto, che riguarda il contesto specifico in cui l'**Help** è stato richiamato. In ogni caso, l'**Help** dispone di una struttura a cascata, facile da consultare e da percorrere, grazie anche alla presenza di frequenti Link (collegamenti) da cui è possibile accedere direttamente agli argomenti riportati sul Link stesso.

7.2. Avvio del software

All'avvio del software si apre una finestra che permette di effettuare due possibili operazioni: **Crea un Nuovo Progetto** o **Apri un Progetto Esistente** (cfr. figura 7.2).

7.2.1. Creare un nuovo progetto

- 1) Scegliere se creare un progetto **Vuoto** o **da Modello** (cfr. figura 7.3);
- 2) Per creare un progetto **da Modello** selezionare il file prototipo nella barra **Modello**;
- 3) Selezionare il **Tipo** di solaio da progettare e premere **[OK]**.

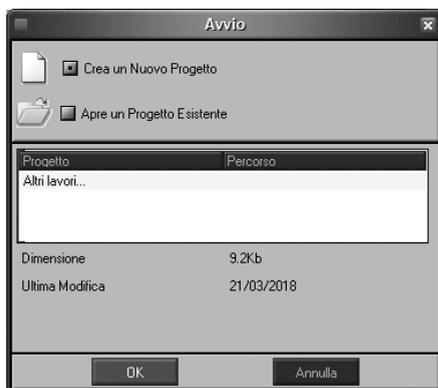


Figura 7.2. Finestra Avvio



Figura 7.3. Aprire un nuovo progetto

Al primo salvataggio del progetto il software chiederà automaticamente le informazioni riguardanti il nome del file e la directory ove è contenuto.

La modellazione di un qualunque progetto, secondo la filosofia comune a tutti i programmi, presuppone l'utilizzo di prototipi di progetto o modelli a cui fare riferimento. Difatti, si consiglia di realizzare il progetto **da Modello**, usufruendo così degli Archivi di progetto e delle impostazioni generali in esso presenti. Ad un primo utilizzo del software potrà essere utilizzato, come

SINTESI DELLE FASI PRINCIPALI DEL SOFTWARE FLOOR – SOLAI MISTI LEGNO-CALCESTRUZZO

8.1. Fasi operative

Tutte le fasi di lavoro previste per la modellazione, l'analisi e l'elaborazione dei risultati, sono opportunamente distinte e possono essere condotte dall'utente in maniera indipendente.

L'utilizzo di opportuni **Archivi di Progetto**, richiamabili da un progetto all'altro, facendo riferimento a *Modelli* o *Prototipi* di progetto (come già spiegato nel capitolo precedente) consente all'utente di disporre, oltre che per il progetto corrente, anche per quelli successivi, come una sorta di *banca dati*, da cui prelevare gli *elementi* utili alla modellazione.

La visualizzazione dei dati a finestra, mediante l'utilizzo di schede di progetto, agevola la fase di *Input dei dati* ed il controllo degli stessi nei vari passi, grazie ad una visione compatta dei dati e ad operazioni di modifica molto veloci. Inoltre la presenza di un'interfaccia grafica, permette di visualizzare in maniera interattiva gli elementi che costituiscono il modello.

La fase di **Calcolo** è stata ottimizzata allo scopo di ottenere risultati affidabili e nel minor tempo possibile, aumentando così la produttività del software.

Le fasi di **Output**, infine, sono particolarmente curate per ottenere la massima resa grafica, sia in fase di anteprima, che in fase di stampa.

Segue una descrizione sintetica delle fasi operative che caratterizzano una comune sessione di lavoro, al fine di offrire all'utente uno strumento di facile e veloce consultazione, per utilizzare in modo immediato il software. Per più specifiche spiegazioni si rimanda all'*Help in linea*.

8.2. Gestione degli Archivi

Il software consente di creare, salvare e riutilizzare **Archivi di Progetto** richiamabili da un progetto all'altro. Sono veri e propri raccoglitori di informazioni relative alle tipologie di elementi (materiali, sovraccarichi, sezioni, specifiche progettazione armature, ecc.), che possono essere utilizzati o meno in un determinato progetto.

È possibile creare un archivio per ogni progetto, o piuttosto crearne uno più ampio che possa essere utilizzato nella redazione di più progetti. È lasciata alla scelta dell'utente la possibilità di arricchire gli archivi e crearne di personali, eliminando o aggiungendo dati, al fine di adeguarli alle proprie esigenze.

È essenziale, in una prima fase di lavoro, creare un buon archivio personalizzato, al fine di richiamarne gli elementi durante la fase di input del progetto, mediante degli appositi codici che li caratterizzano in maniera univoca.

Cliccando sul comando **Archivi** , vengono visualizzate le categorie presenti, tra cui:

- **Materiali;**
- **Sovraccarichi;**
- **Travetti Prefabbricati;**

- Sezioni;
- Specifiche Armature.

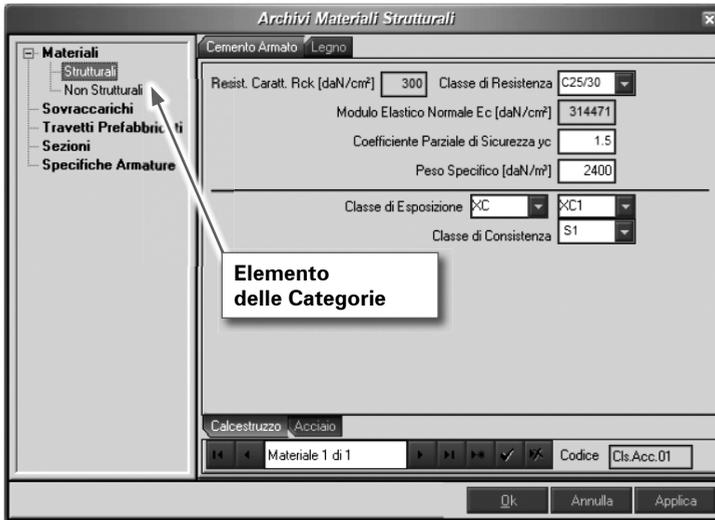


Figura 8.1. Archivi di Progetto

Cliccando su ciascuna voce dell'elenco a cascata, presente sulla sinistra della figura 8.1, verranno mostrati a destra i dati dell'archivio selezionato.

Gli elementi di ciascun archivio si trovano elencati in apposite tabelle, o schede, gestibili mediante la **Barra Navigator**, sul fondo della finestra (figura 8.2).

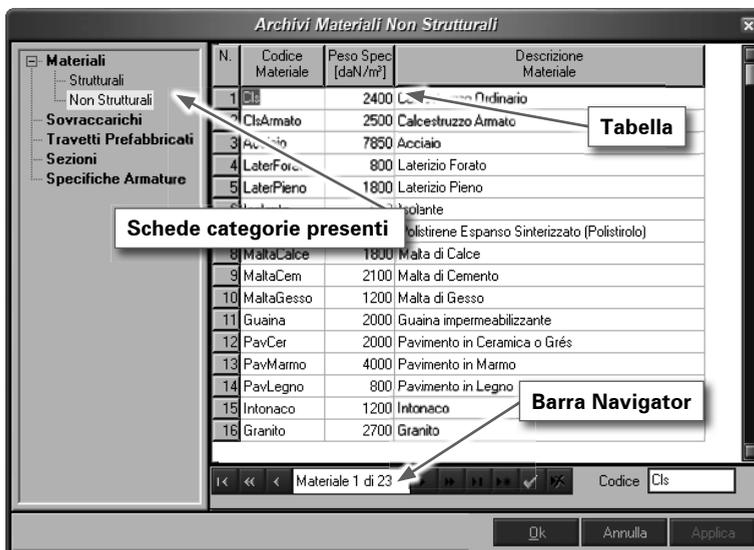


Figura 8.2. Archivio Materiali

ESEMPIO E VALIDAZIONE SOFTWARE

9.1. Generalità

In base a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e Circolare applicativa n. 7/2019, relativamente al capitolo sulla *Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo* e nel caso specifico in cui le elaborazioni vengano svolte con l'ausilio del calcolo automatico, a mezzo di elaboratore elettronico, affinché possa essere provata l'affidabilità del codice di calcolo utilizzato, è necessario che il progettista prenda atto, in una fase preliminare alla modellazione e al calcolo, di tutta la documentazione, fornita a corredo del software, in modo da poterne così valutare l'affidabilità e soprattutto l'applicabilità al caso specifico. Tale documentazione, fornita dal produttore o dal distributore del software, deve contenere, oltre una descrizione delle basi teoriche e del metodo di calcolo impiegato, anche l'individuazione dei possibili campi di impiego e l'elaborazione di casi prova, interamente svolti e commentati, a cui è possibile fare riferimento, per accertare l'attendibilità dei calcoli svolti, disponendo sia dei dati di input, che dei risultati ottenuti, tanto col calcolo automatico, quanto con quello manuale.

Per poter valutare sinteticamente la coerenza dei risultati derivanti dal calcolo automatico, con quelli ricavati da altre fonti, quali in particolare, il calcolo manuale o le soluzioni teoriche comunemente riconosciute dalla letteratura di riferimento, è necessario riportare, a conclusione di ogni singola elaborazione, il corrispondente fattore di affidabilità del calcolo, dato dalla differenza percentuale tra i valori ottenuti con i due metodi.

È comunque importante precisare che la *Validazione del codice di calcolo* non può ridursi solo ad un semplice confronto numerico tra i risultati ottenuti automaticamente, con l'utilizzo del software, e quelli calcolati teoricamente (con riferimento a significativi casi prova forniti a corredo del software), in quanto risulta di basilare importanza non perdere di vista l'obiettivo globale, che deve necessariamente perseguire chi utilizza un software di calcolo, ovvero quello di comprenderne i campi di impiego e le ipotesi che stanno alla base della modellazione.

Pertanto, la validazione del calcolo non sarà più solo quella dei risultati ottenuti, ma anche quella dei dati immessi e della comprovata aderenza delle ipotesi adottate al caso reale. Ciò richiede una esplicita dimostrazione, da parte del progettista, di aver bene interpretato tutti i fattori e gli aspetti che interferiscono con la vita della struttura e di averli correttamente tradotti con una coerente modellazione strutturale dell'opera.

L'iter progettuale, dunque, partendo dal riconoscimento dell'opera e passando attraverso l'accettabilità delle ipotesi prese alla base della modellazione, conduce all'ottenimento di risultati la cui validità risulta dimostrata solo se la modellazione della geometria, dei vincoli, dei materiali e delle azioni sono aderenti alla struttura reale ed al suo reale utilizzo.

È chiaro dunque che la *accettabilità* dei risultati ottenuti col calcolo automatico, deve necessariamente partire dalla *accettabilità* dei dati immessi. Per giungere a tale obiettivo è essenziale ricorrere ad un consapevole impegno del progettista.

9.2. Esempio applicativo

Nel seguito viene riportato, dunque, un esempio applicativo, interamente svolto e commentato, in cui i risultati ottenuti con il software **Floor – Solai misti legno-calcestruzzo**, vengono confrontati con quelli teorici ottenuti sulla base di formule riprese dalla letteratura di riferimento, nonché i criteri e i concetti che stanno alla base del metodo di calcolo utilizzato, i campi di impiego del software e le ipotesi adottate per la modellazione strutturale.

[L'ESEMPIO APPLICATIVO È RIPORTATO A SEGUIRE]

9.3. Stampe elaborati di calcolo

Eseguito il calcolo strutturale, il software **Floor – Solai misti legno-calcestruzzo** consente la visualizzazione a video e la stampa dei seguenti elaborati di calcolo:

- *Testata*;
- *Relazione Generale*;
- *Relazione Esecutiva*;
- *Relazione Materiali*;
- *Relazione di Calcolo*;
- *Piano di Manutenzione*.

A titolo di esempio si riportano di seguito alcuni stralci delle stampe suddette.

[LE STAMPE DEGLI ELABORATI DI CALCOLO SONO RIPORTATI A SEGUIRE]



In base a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, con riferimento al capitolo sulla "Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo" e nel caso specifico in cui le elaborazioni vengano svolte con l'ausilio del calcolo automatico, a mezzo di elaboratore elettronico, affinché possa essere provata l'affidabilità del codice di calcolo utilizzato, è necessario che il progettista prenda atto, in una fase preliminare alla modellazione e al calcolo, di tutta la documentazione, fornita a corredo del software, in modo da poterne così valutare l'affidabilità e soprattutto l'applicabilità al caso specifico.

Tale documentazione, fornita dal produttore o dal distributore del software, deve contenere, oltre una esauriente descrizione delle basi teoriche e del metodo di calcolo impiegato, anche l'individuazione dei possibili campi di impiego e l'elaborazione di casi prova, interamente svolti e commentati, a cui è possibile fare riferimento, per accertare l'attendibilità dei calcoli svolti, disponendo sia dei dati di input, che dei risultati ottenuti, tanto col calcolo automatico, quanto con quello manuale.

Per poter valutare sinteticamente la coerenza dei risultati derivanti dal calcolo automatico, con quelli ricavati da altre fonti, quali in particolare, il calcolo manuale o le soluzioni teoriche comunemente riconosciute dalla letteratura di riferimento, è necessario riportare, a conclusione di ogni singola elaborazione, il corrispondente fattore di affidabilità del calcolo, dato dalla differenza percentuale tra i valori ottenuti con i due metodi.

E' comunque importante precisare che la "Validazione del codice di calcolo" non può ridursi solo ad un semplice confronto numerico tra i risultati ottenuti automaticamente, con l'utilizzo del software, e quelli calcolati teoricamente (con riferimento a significativi casi prova forniti a corredo del software), in quanto risulta di basilare importanza non perdere di vista l'obiettivo globale, che deve necessariamente perseguire chi utilizza un software di calcolo, ovvero quello di comprenderne i campi di impiego e le ipotesi che stanno alla base della modellazione.

Pertanto, la validazione del calcolo non sarà più solo quella dei risultati ottenuti, ma anche quella dei dati immessi e della comprovata aderenza delle ipotesi adottate al caso reale. Ciò richiede una esplicita dimostrazione, da parte del progettista, di aver bene interpretato tutti i fattori e gli aspetti che interferiscono con la vita della struttura e di averli correttamente tradotti con una coerente modellazione strutturale dell'opera.

L'iter progettuale, dunque, partendo dal riconoscimento dell'opera e passando attraverso l'accettabilità delle ipotesi prese alla base della modellazione, conduce all'ottenimento di risultati la cui validità risulta dimostrata solo se la modellazione della geometria, dei vincoli, dei materiali e delle azioni sono aderenti alla struttura reale ed al suo reale utilizzo.

E' chiaro dunque che la "accettabilità" dei risultati ottenuti col calcolo automatico, deve necessariamente partire dalla "accettabilità" dei dati immessi. Per giungere a tale obiettivo è essenziale ricorrere ad un consapevole impegno del progettista.

Nel seguito vengono riportati, dunque, oltre ai casi di prova, interamente svolti e commentati, in cui i risultati ottenuti con il software utilizzato vengono confrontati con quelli teorici ottenuti sulla base di formule riprese dalla letteratura di riferimento, anche i criteri e i concetti che stanno alla base del metodo di calcolo utilizzato, i campi di impiego del software e le ipotesi adottate per la modellazione strutturale.

Esempio**- 2 -****Esempio**

Viene nel seguito fornito un esempio, che consente un controllo e un riscontro sull'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo. In tale esempio viene analizzata sia la soluzione ottenuta tramite calcolo manuale, che quella ottenuta con il calcolo automatico, ed i risultati vengono posti a confronto. Infine vengono determinate le differenze percentuali tra i risultati ottenuti con i due metodi.

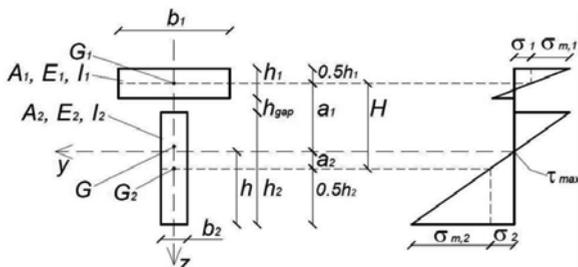
In testa al caso preso in esame, vengono inoltre indicati i dati di riferimento utili per la riproduzione indipendente del calcolo, in particolare, si riportano la versione del programma con cui il calcolo è stato effettuato e il nome del file corrispondente.

Solaio misto legno-calcestruzzo**Verifiche agli SLU e agli SLE**

Versione: Floor 2019

File Rif.: Validaz5_SolaiInLegnoClis.Floor

Si consideri un solaio in legno-calcestruzzo che insiste su una unica campata, le **caratteristiche geometriche** della sezione utilizzata sono le seguenti:



Luce campata	$L = 500$ cm
Interasse travi in legno	$b_1 = 60$ cm
Spessore soletta c.a.	$h_1 = 5$ cm
Larghezza travi in legno	$b_2 = 10$ cm
Altezza travi in legno	$h_2 = 28$ cm
Altezza assito	$h_{gap} = 3$ cm
Diametro connettore	$\varphi_{conn} = 1.4$ cm
Lunghezza connettore	$L_w = 15$ cm
Passo minimo connettori	$s_{min} = 10$ cm
Passo massimo connettori	$s_{max} = 20$ cm

Le **proprietà meccaniche** sono le seguenti:

Modulo elastico soletta $t=0$	$E_1 = 314760$ daN/cm ²
Modulo elastico trave in legno $t=0$	$E_2 = 115000$ daN/cm ²
Modulo elastico soletta $t=\infty$	$E_1 = 96760$ daN/cm ²
Modulo elastico trave in legno $t=\infty$	$E_2 = 71880$ daN/cm ²
Peso specifico medio	$\rho_m = 385$ daN/cm ²
Rigidità del connettore SLE	$k_{ser} = 91965$ daN/cm ²
Rigidità del connettore SLU $t=0$	$k_u = 61310$ daN/cm
Rigidità del connettore SLU $t=\infty$	$k_u = 38319$ daN/cm ²

Studio di Ingegneria

PROGETTO STRUTTURALE ESECUTIVO

Progetto Solai in legno-cemento

CONTENUTO ELABORATI:

- Relazione Generale*
- Relazione Esecutiva*
- Relazione Materiali*
- Relazione di Calcolo*
- Elaborati Grafici*
- Particolari Costruttivi*
- Piano di Manutenzione*



MATERIALI IMPIEGATI:

*Calcestruzzo Classe C25/30 - Acciaio Tipo B450C
Legno Lamellare*

COMMITTENTE: *Ditta Committente*

PROGETTISTA

Progettista

STRUTTURISTA

Strutturista

DIRETTORE DEI LAVORI
Direttore dei Lavori

IMPRESA
Impresa Esecutrice

COLLAUDATORE IN C.O.
Collaudatore

Floor

Floor 2019 - *Calcolo e Verifica Solai, Scale e Sbalzi*
© S.I.S. - SOFTWARE INGEGNERIA STRUTTURALE s.r.l.
C.P.4 (CT15) - 95127 CATANIA - Tel. 095.7122189 - Fax 095.7122188
<http://www.sis.ingegneria.it> - email: info@sis.ingegneria.it





Relazione Generale

La seguente Relazione Generale riporta i dati generali che caratterizzano gli elementi strutturali del progetto in esame, la collocazione in ambito nazionale e le caratteristiche generali del sito ove esso è ubicato. Essa contiene, inoltre, le indicazioni riguardo la tipologia e le caratteristiche dei materiali con cui le opere sono realizzate e tutte le azioni agenti sulle stesse.

Descrizione Generale del Progetto

Il seguente progetto prevede il calcolo ed il disegno delle armature dei travetti di un solaio, poggianti su travi ortogonali all'orditura dei solai stessi.

I solai in legno-cemento sfruttano la presenza di una sottile soletta collaborante per garantire la rigidezza e la resistenza necessarie; si tratta, pertanto, di strutture miste ottenute dall'assemblaggio di un travetto in legno e una lastra realizzata in calcestruzzo armato ordinario.

Livelli di sicurezza e prestazioni attese dall'opera

Le strutture e gli elementi strutturali devono essere progettati, eseguiti, collaudati e soggetti a manutenzione in modo da consentire la prevista utilizzazione, per tutta la vita utile di progetto ed in forma economicamente sostenibile in base al livello di sicurezza previsto dalle Norme.

La sicurezza di un'opera e le sue prestazioni devono essere valutate in relazione agli Stati Limite che si possono verificare durante la vita di progetto, detta Vita Nominale. Per Stato Limite si intende, in generale, quella determinata situazione, superata la quale, l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. Si parla, dunque, di condizioni che dovranno essere soddisfatte per scongiurare la crisi ultima (sicurezza nei confronti degli **Stati Limite Ultimi**), ed anche di condizioni, legate all'uso quotidiano della struttura stessa, per "rimanere adatta all'uso" (sicurezza nei confronti degli **Stati Limite di Esercizio**).

Caratteristiche del Sito

Il sito ove sono ubicati le opere da realizzare, viene caratterizzato sulla base di una macrozonazione del territorio nazionale, in funzione della tipologia delle azioni che impegnano le strutture nella loro vita utile. Per ulteriori approfondimenti sulla caratterizzazione del sito, si rimanda alla successiva Relazione di Calcolo.

Tipologia dei Materiali

I solai del presente progetto realizzati in legno-cemento, impiegano **Calcestruzzo di Classe C25/30 e Legno di tipo Lamellare**.

Tipologia delle Azioni

Per ciascun elemento strutturale (solaio, scala, sbalzo) verrà eseguita una analisi dei carichi, considerando le seguenti azioni di tipo antropico, legate alla destinazione d'uso dell'opera:

- **Pesi propri dei materiali strutturali**
- **Carichi permanenti non strutturali**
- **Sovraccarichi variabili**

Per la schematizzazione delle azioni nonché le condizioni e combinazioni di carico considerate, si rimanda ai capitoli della successiva Relazione di Calcolo.

**Il Tecnico
Strutturista**

Guida teorico-pratica che, con l'ausilio del software (**Floor – Solai misti legno-calcestruzzo**), affronta l'analisi, la progettazione strutturale e il disegno di solai misti legno-calcestruzzo, in conformità alle NTC 2018 (di cui al D.M. 17 gennaio 2018) e alla Circolare applicativa n. 7/2019. La parte teorica richiama i concetti generali che stanno alla base dei metodi di verifica della sicurezza, con particolare attenzione per il metodo agli Stati Limite. Vengono successivamente descritte le proprietà fisico-meccaniche dei materiali che costituiscono i solai oggetto del testo: il legno ed il calcestruzzo. Definite la tecnologia costruttiva dei solai misti legno-calcestruzzo, le tipologie di connessione ed individuate alcune soluzioni relative ai dettagli costruttivi, nella guida viene affrontato il metodo di calcolo comprensivo di analisi dei carichi e criteri di progettazione. Ampio spazio viene dedicato alle verifiche agli Stati Limite Ultimi e di Esercizio, seguendo l'approccio proposto dalla CNR-DT 206 R1/2018 e conformemente alle NTC 2018 e all'EC5, tenendo conto degli effetti a breve ed a lungo termine.

SOFTWARE INCLUSO

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo è un software specifico per l'analisi, la progettazione strutturale e il disegno di solai misti legno-calcestruzzo, in conformità alle NTC 2018 (D.M. 17 gennaio 2018) e alla Circolare applicativa n. 7/2019. Il metodo di calcolo per le caratteristiche della sollecitazione è quello agli Elementi Finiti (FEM). L'elemento finito è di tipo monodimensionale (BEAM). Viene assunto uno schema di calcolo a trave continua su più appoggi e le condizioni di carico previste provengono da tutte le possibili combinazioni dei carichi variabili, studiati per ottenere i valori massimi delle caratteristiche della sollecitazione in mezzzeria e agli appoggi. I risultati delle verifiche sono ottenuti involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione. Verifiche e dimensionamento vengono effettuati in ciascuna sezione, considerando una sezione mista legno-calcestruzzo di larghezza unitaria. Per ogni sezione il software effettua le verifiche a breve ed a lungo termine, in funzione della sollecitazione agenti.

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo restituisce in output i risultati delle elaborazioni sia mediante tabulati, di facile lettura e pratica consultazione, con la compilazione automatica delle relazioni (conformi alle NTC 2018), sia mediante elaborati grafici stampabili. Il software è inoltre corredato da una pratica guida in cui vengono fornite le indicazioni e le istruzioni necessarie per acquisire dimestichezza nel minor tempo possibile.

Floor – Solai misti legno-calcestruzzo evidenzia spiccate caratteristiche di interattività e si propone come strumento di analisi integrato per la progettazione, avente cioè tutte le funzioni necessarie per seguire l'intero iter progettuale, dalla ricerca interattiva del dimensionamento ottimale degli elementi, alla stampa della relazione e dei disegni esecutivi.

REQUISITI HARDWARE E SOFTWARE

Processore Intel Pentium IV a 2 GHz; MS Windows 7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore); 2 Gb di memoria RAM; Disco Fisso con almeno 100 Mb di spazio libero; Scheda Video 512 Mb di RAM; Monitor a colori 1024x768 (16 milioni di colori); Mouse con rotellina di scroll.

Angelo Longo, Ingegnere civile strutturista, è Direttore Tecnico della S.I.S. **Software Ingegneria Strutturale S.r.l.**, azienda specializzata nella ricerca e nello sviluppo di software ad alto contenuto tecnologico nel settore dell'ingegneria civile strutturale.



ISBN 13 978-88-277-0100-3



Euro 55,00