



Nascita ed evoluzione di un Solaio ad alte prestazioni

Sommario dei Capitoli

1. La Storia

Attraverso l'evoluzione storica degli orizzontamenti viene decifrato e contestualizzato il Solaio Compound.

2. Il Prodotto

L'analisi tecnica, i test di laboratorio e le certificazioni sono gli elementi fondanti che caratterizzano il Solaio Compound.

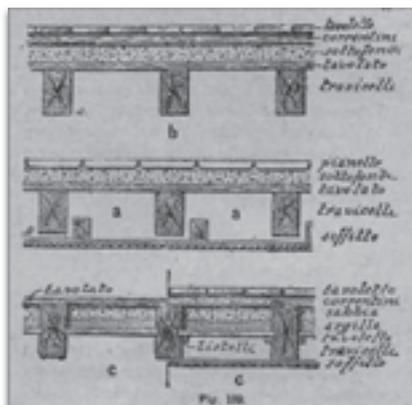
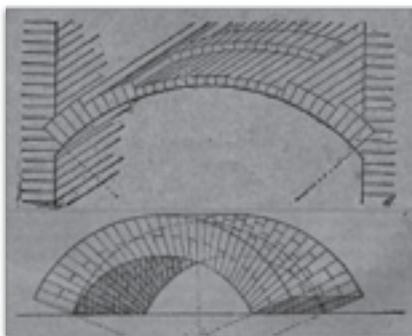
3. Le Realizzazioni

L'impiego nelle ristrutturazioni e nelle nuove costruzioni testimonia, conferma e ratifica il Solaio Compound.

1.

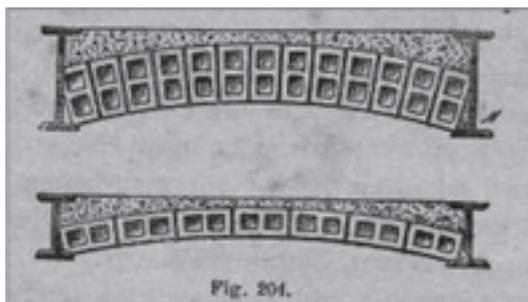
La Storia

Evoluzione storica degli orizzontamenti

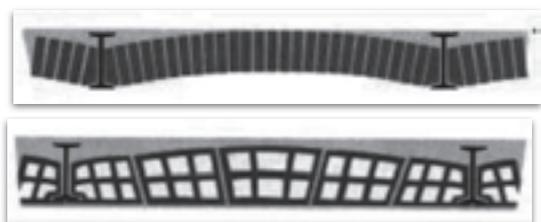


Entrando nella trattazione specifica dell'argomento solai, ci è fatto l'obbligo riportare alcuni cenni storici relativi all'origine, all'evoluzione ed alle tecnologie.

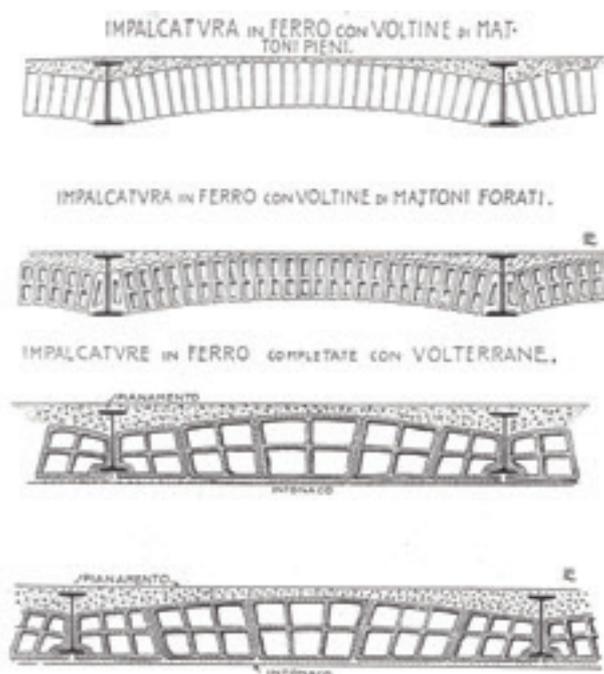
I solai in legno, costituiti da travi e tavolato, furono, insieme alla volta in mattoni di laterizio, le prime soluzioni utilizzate.



Le volte verranno superate dalle strutture orizzontali, più vantaggiose sia per il minor volume generalmente occupato, sia per l'assenza delle spinte verso le murature d'appoggio.

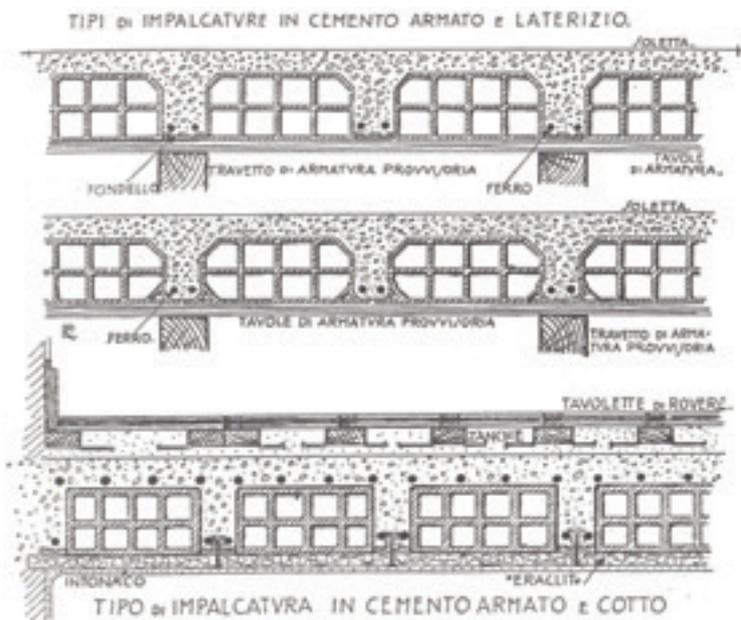


Altro aspetto, tutt'altro che irrilevante, era rappresentato dal fatto che i solai orizzontali assicuravano un collegamento strutturale con le murature portanti.



La trave in ferro, generalmente lasciata a vista, presentava tuttavia l'inconveniente, in caso di incendio, di perdere la propria resistenza procurando il collasso delle strutture.

Fu quindi evidente la necessità di un rivestimento protettivo mediante materiali laterizi capaci di sopportare forti temperature.



Fu subito chiaro come il peso specifico molto elevato di questo prodotto lo rendesse poco indicato per la realizzazione di solette piene mentre il laterizio, fino a quel momento utilizzato in modo del tutto scollegato dall'orditura portante, poteva finalmente fungere da alleggerimento.

7

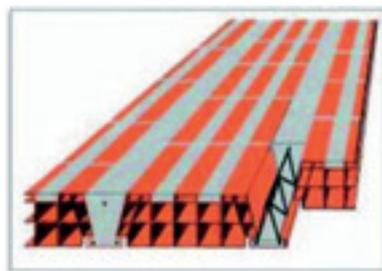
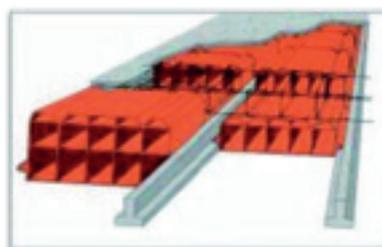
Pur risalendo al 1911 le prime realizzazioni di solai misti laterocementizi, fu solo dopo la metà degli anni '20 che il contributo determinante di lungimiranti imprenditori del settore portò questa tecnica ad essere utilizzata su larga scala. Negli anni '30 furono brevettati diversi sistemi di prefabbricazione che utilizzavano elementi forati in laterizio assemblati "in linea" solidarizzati da tondini in acciaio e malta. Nel dopoguerra e quindi a partire dagli anni '40 e fino agli anni '60, si svilupperanno tre tecniche di produzione di travetti armati a sezione generalmente costante, con armatura metallica variabile, come pure l'altezza degli interposti, in funzione delle luci da coprire e dei sovraccarichi da sostenere.

8

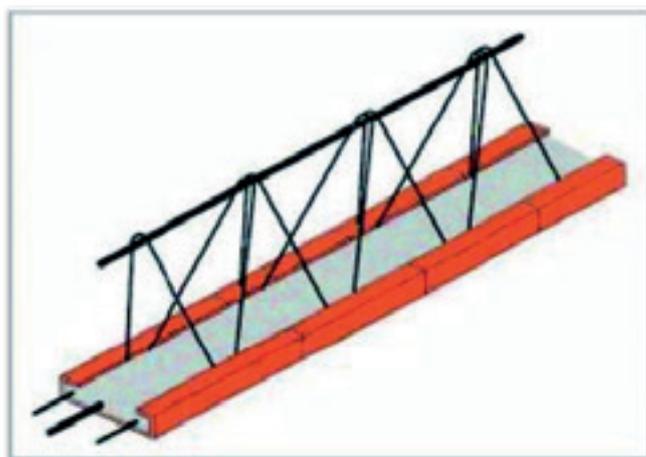
Travetti Armati in laterizio con profilo a “T” rovescio con le armature alloggiare in opportune scanalature

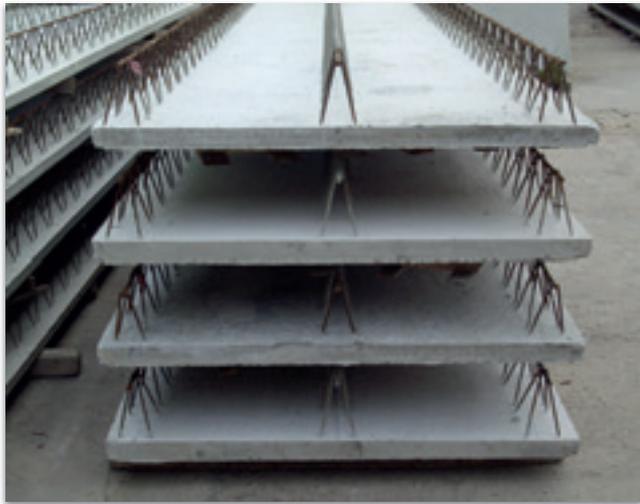
Travetti Armati in cemento con profilo a “T” rovescio costituito da calcestruzzo precompresso

Travetti Armati in laterizio e traliccio, costituito da un’armatura metallica inserita nella parte inferiore di un fondello anch’esso in laterizio



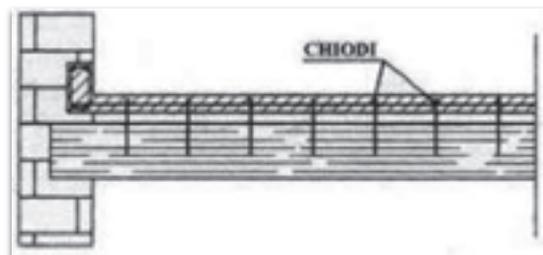
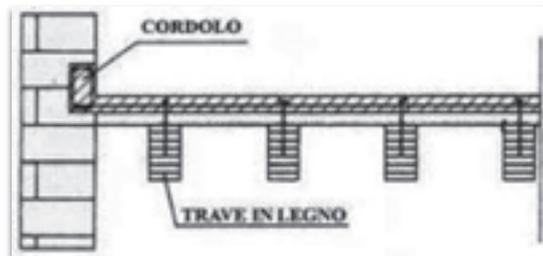
I travetti Bausta armati a traliccio garantiscono un comportamento duttile anche per rotture a taglio, una maggiore monoliticità delle nervature e sono sicuramente idonei a svolgere un ruolo di maggiore resistenza agli S.L.U. pur necessitando anch'essi di fasce piene in calcestruzzo agli appoggi.





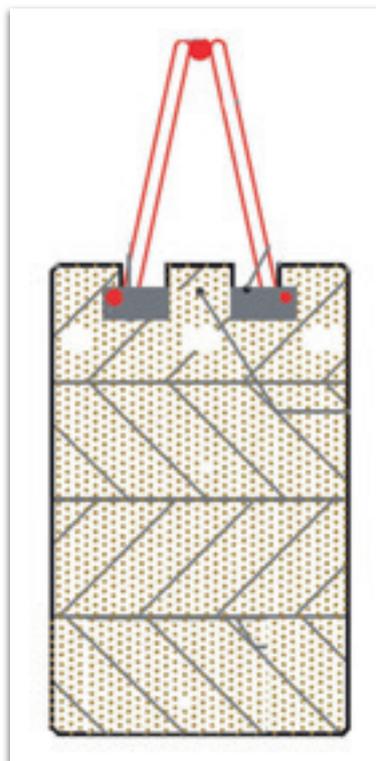
Negli anni '70, parallelamente ai solai a travetto, si realizzano pannelli armati prefabbricati in laterocemento nonché solai a lastre in calcestruzzo armato di tipo predalle, costituite da tralicci in acciaio annegati in una base di calcestruzzo opportunamente distanziati.

Negli anni '80 e '90, per contro, iniziano a svilupparsi, a seguito del rinnovato utilizzo del legno a fini strutturali, tecniche che vedono il legno lavorare in unione con il calcestruzzo attraverso connessioni di tipo puntuale o continuo per mezzo di viti, resine, pioli, lame o lamiere.



Solo a partire dal 2000 si realizza una sintesi completa che permette al legno, al cemento ed al laterizio, di lavorare in sinergia.

La connessione tra i travetti in legno ed il calcestruzzo armato con traliccio metallico viene ora realizzata attraverso particolari canali di fresatura e risalti interrotti a periodo costante all'interno dei travetti stessi e risulta essere la vera chiave di volta del sistema.

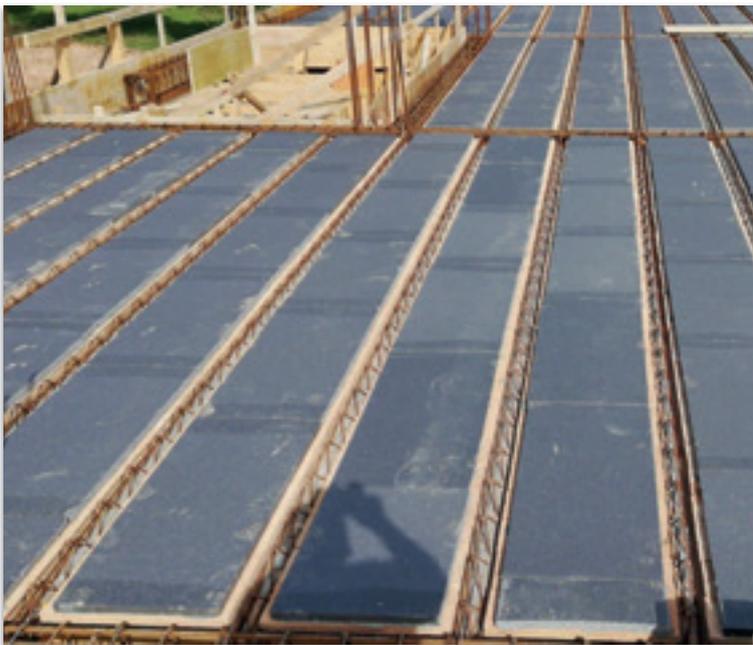


2. Il Prodotto

Analisi tecnica e certificazioni

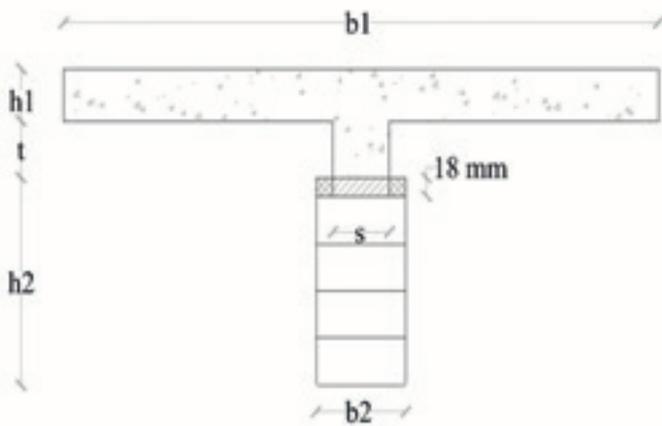


Il “Solaio Compound®” basa la propria filosofia nel far lavorare in sinergia legno e calcestruzzo sfruttando la resistenza a trazione del primo e quella a compressione del secondo, portando quindi il sistema ai massimi risultati possibili in termini di efficienza globale.



Il corretto rapporto fra soluzione leggera e massiva in cui il ruolo dell'inerzia termica si bilancia con quello dell'isolamento alle dispersioni è un altro elemento distintivo che caratterizza questo tipo di orizzontamento.

La sezione resistente del Solaio Compound è formata da un travetto in legno lamellare appositamente ingegnerizzato e da una trave superiore a T in calcestruzzo armato con traliccio Bausta e rete elettrosaldata.

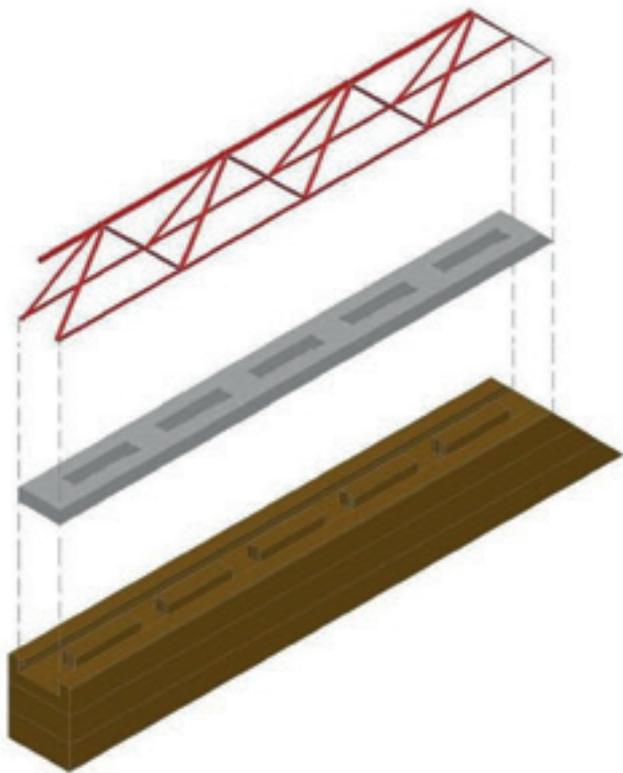


17

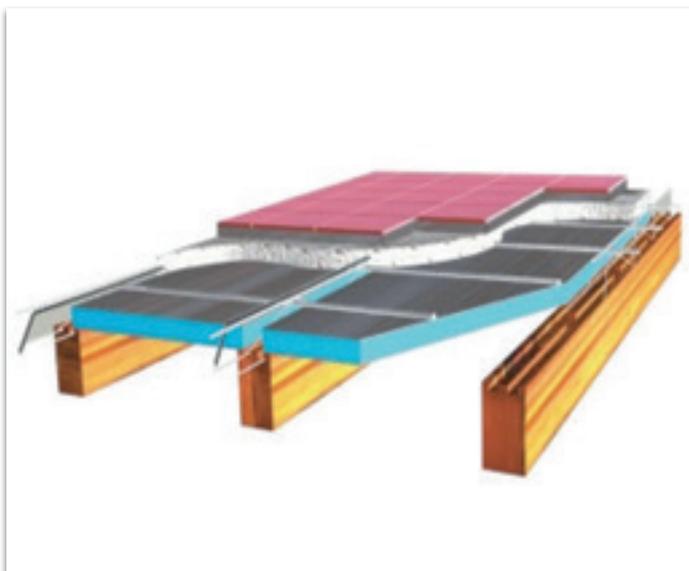
La parte estradossata dell'elemento ligneo è dotata di una particolare fresatura ad incastro nella quale a pressione viene inserito un traliccio metallico in acciaio FeB 44k elettrosaldato di tipo Bausta h 9.5 / 12,5 cm, composto da due tondini $\varnothing 5$ inferiori, un $\varnothing 7$ superiore e staffe $\varnothing 5$ con passo 200 mm.



18



Nella stessa fase produttiva e prima dell'inserimento del traliccio, si predispone l'allettamento con funzione di copriferro, per colatura, utilizzando una specifica malta cementizia a stabilità volumetrica avente caratteristiche di alta resistenza meccanica.



Il Solaio Compound si differenzia dalle altre tipologie di solai misti nelle varie declinazioni quali laterocemento, legnocemento, pannelli cassero in EPS, lastre Predalles, legno calcestruzzo a connessione puntuale e collaboranti in lamiera grecata.



Appendici

A) Abstract

B) Verifica Connessioni

Appendice (A) Abstract



VII WORKSHOP ITALIANO SULLE STRUTTURE COMPOSTE
Benevento, 23-24 Ottobre 2008
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DEL SANNIO
FACOLTÀ DI INGEGNERIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA



UNA PARTICOLARE CONNESSIONE LEGNO-CALCESTRUZZO. ANALISI SPERIMENTALE E SIMULAZIONE NUMERICA

Paolo CLEMENTE ¹

Maurizio PIAZZA ²

Roberto TOMASI ²

¹ ENEA, Centro Ricerche Casaccia, Roma, Italia

² Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale, Università di Trento, Italia

Keywords: sezione mista, legno, calcestruzzo, connessione, scorrimento

ABSTRACT

Appendice (A) Abstract

Si presenta una nuova tipologia di connessione per la Formazione di una struttura composta legno-calcestruzzo, tra una trave di legno lamellare, di sezione rettangolare, dotata di una particolare fresatura ad incastro e di denti in legno, e un getto di completamento in conglomerato cementizio eseguito in opera, realizzata mediante l'utilizzo di malta cementizia Antiritiro ad alta resistenza e di un traliccio in acciaio elettro-saldato. La validità del sistema di connessione descritto è dimostrata mediante un'adeguata serie di indagini sperimentali, che hanno consentito anche di determinare rigidezza e resistenza del sistema.

Lo studio sperimentale è Stato effettuato in due fasi: dopo una prima campagna sperimentale nella quale sono state studiate diverse soluzioni ai fini di un'analisi dell'influenza dei vari parametri sul comportamento, in una seconda fase l'attenzione si è concentrata sulla ricerca della soluzione ottimale anche a mezzo di una accurata modellazione numerica.

A2

Appendice (A) Abstract

1 Introduzione

Com'è noto, nelle travi composte e in particolare quelle legno - calcestruzzo, si cerca di sfruttare al meglio le caratteristiche dei materiali componenti: alla soletta in c.a. sono affidati gli sforzi di compressione per quanto riguarda il comportamento flessionale, di ripartizione dei carichi e di diaframmatura (comportamento per azioni nel piano di solaio), mentre all'elemento ligneo sono affidati sforzi prevalentemente di trazione e di flessione. Tale collaborazione, però, è garantita soltanto se tra i due elementi non si verificano significativi scorrimenti. Pertanto, il comportamento statico della sezione composta legno-calcestruzzo è influenzato dalle rigidzze flessionali ed assiali degli elementi componenti ma anche dalla rigidzza specifica k della connessione tra di essi; tale comportamento è sempre compreso tra i due casi estremi di rigidzza nulla ($k=0$, sforzi di scorrimenti nulli) e di rigidzza infinita ($k=\infty$, massimo sforzo di scorrimento trasmesso) [1].

A3



Appendice (A) Abstract

La possibilità di adottare sezioni miste legno - calcestruzzo è contemplata anche da recenti normative nazionali le quali, con riferimento al solaio, prescrivono che, affinché questo possa essere considerato infinitamente rigido nel proprio piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistente, debba presentare una soletta in c.a., di spessore almeno pari a 50 mm, collegata da connettori a taglio agli elementi in legno. In relazione a ciò, è anche bene ricordare che non è preclusa la possibilità di “altre soluzioni costruttive”, per le quali “l’ipotesi di infinita rigidezza dovrà essere valutata e giustificata dal progettista”.

Al riguardo le Istruzioni CNR-DT 206 [2] recitano: “la connessione tra soletta e trave in legno va realizzata con sistemi dei quali sia stata dimostrata la validità per mezzo di adeguate campagne sperimentali condotte secondo le pertinenti norme.



Appendice (A) Abstract

La rigidezza K_{ser} e la capacità portante $F_{v,Rk}$ della connessione trave-soletta dovranno essere determinate tramite prove sperimentali e sulla base di teorie di comprovata validità che tengano conto delle specifiche caratteristiche della connessione così come sarà utilizzata in opera”. Le stesse istruzioni forniscono prescrizioni sulla rigidezza e resistenza di connessioni realizzate con denti di calcestruzzo disposti entro opportune fresature nel legno e ottenuti mediante lo stesso getto della soletta. In tal caso la resistenza della connessione dipende dalla resistenza a scorrimento longitudinale e a flessione locale del legno indebolito dalle fresature, dalla resistenza a taglio e flessione del dente di calcestruzzo e dalla resistenza a rifollamento del legno. In ogni caso, la valutazione della rigidezza della connessione dovrà tener conto del reale comportamento sperimentale. Le medesime Istruzioni CNR-DT 206 ammettono ancora la possibilità di utilizzare “altri sistemi di connessione purché la resistenza e la rigidezza vengano chiaramente individuate su base sperimentale e teorica”.

📌 Appendice (A) Abstract

La memoria presenta una nuova tipologia di connessione legno-calcestruzzo che trova facile applicazione nel settore dei solai.

Come richiesto da normativa, la validità del sistema di connessione tra soletta e trave in legno è stata dimostrata per mezzo di adeguate campagne sperimentali, che hanno consentito anche di determinarne rigidità e capacità portante.

In particolare lo studio sperimentale è stato effettuato in due fasi: dopo una prima campagna sperimentale nella quale sono state prese in esame diverse soluzioni, una seconda campagna si è focalizzata sulla soluzione che appariva più promettente. Lo studio è stato supportato anche da un'accurata modellazione numerica.

A6

📌 Appendice (A) Abstract

2 Connessione Legno-Calcestruzzo

Il sistema di connessione in esame è riferito ad un elemento di trave in legno lamellare, di sezione rettangolare, dotato di una particolare fresatura ad incastro e di denti in legno lungo il tratto centrale (Figura 1), e al getto di conglomerato cementizio eseguito in opera: tale sistema si realizza mediante l'utilizzo di malta cementizia antiritiro ad alta resistenza e di un traliccio in acciaio elettro-saldato.

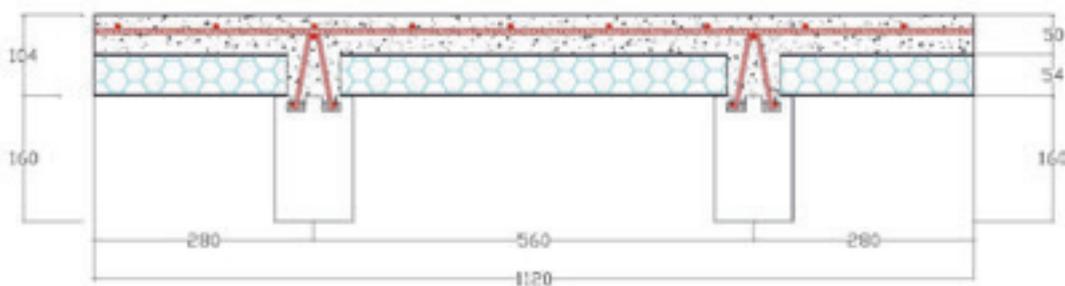


Fig. 1 Geometria dell'elemento in legno lamellare e della sezione mista.

A7

Appendice (A) Abstract

Più in dettaglio la costruzione del sistema avviene in due fasi: nella prima, nella scanalatura dell'elemento in legno lamellare determinata dalla fresatura ad incastro e dai denti di legno, viene gettata la malta a stabilità volumetrica fino al quasi totale riempimento della fresatura e, a malta ancora fluida, viene inserito meccanicamente il traliccio; nella seconda, avviene il getto della soletta.

La prima fase ha luogo sempre in stabilimento, a garanzia della qualità delle operazioni, la seconda quasi sempre in opera.

Val la pena osservare che la presenza del traliccio, inserito nella fresatura, inibisce il distacco tra i due elementi componenti sul piano verticale.

A8

Appendice (A) Abstract

3 Influenza dei vari parametri sul comportamento

In una prima campagna di indagine sono state prese in esame numerose soluzioni al fine di valutare l'influenza dei vari parametri in gioco, sulla base di sperimentazione fisica e numerica. In particolare per quanto attiene la fase sperimentale, sono stati realizzati provini di lunghezza pari a 1500 mm, ciascuno costituito da una trave in legno lamellare di dimensioni 100x200 mm, fresata su entrambe le facce e connessa a due solette in cemento armato con resistenza cubica $R_{ck} = 25$ MPa, di larghezza 660 mm; le dimensioni di ciascun dente di legno, ove presente, sono pari a 18x18 mm e lunghezza variabile come più avanti specificato (Figura 2). Sono stati realizzati in totale 10 tipologie di campioni, che si differenziavano tra loro per il tipo di connessione, e due provini per ogni tipologia, per un totale di 20 campioni.

A9

Appendice (A) Abstract

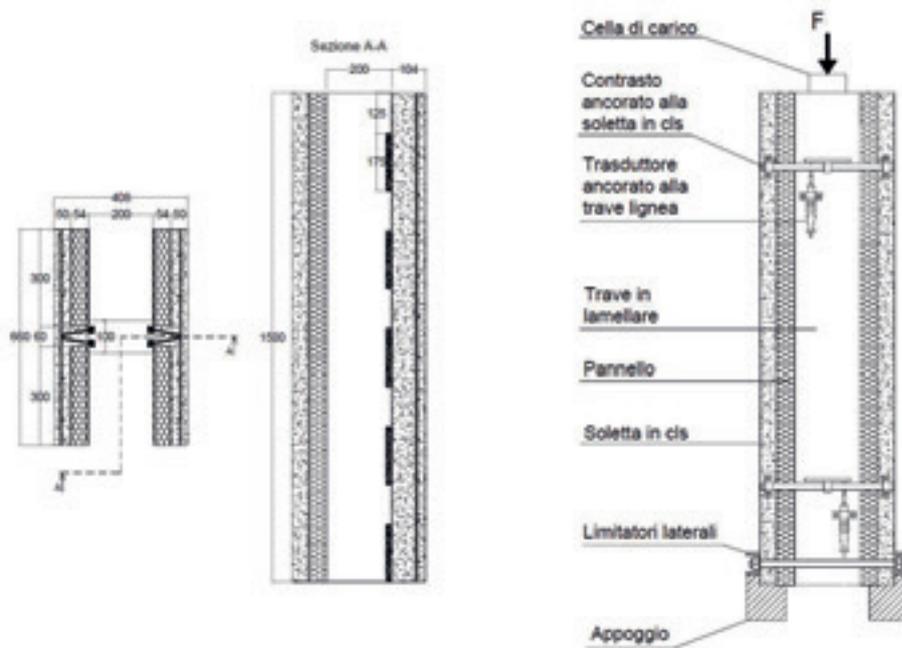


Fig. 2 Sezioni del provino, schema di prova e strumentazione.

A10

Appendice (A) Abstract

In particolare, anche sulla base di una preliminare analisi numerica, sono stati previsti:

- valori del passo tra i denti di legno pari a 300, 400 e 500 mm, con lunghezza rispettivamente pari a 125, 150 e 170 mm;
- 2 tipologie di traliccio: senza e con tralicci orizzontali saldati nel piano della connessione, in corrispondenza dei denti di calcestruzzo, tra due denti di legno successivi;
- 2 tipi di getto di riempimento: diretto o con interposizione di malta a ritiro compensato, avente comunque modulo elastico simile a quello del calcestruzzo;
- l'interposizione o meno di prodotto a base epossidica, avente il duplice scopo di proteggere il legno dall'umidità del getto e di aumentare l'aderenza tra legno e malta;
- 2 tipologie di scanalatura: rettangolare o a coda di rondine.

A11

Appendice (A) Abstract

Le prove sperimentali sono state effettuate presso il Laboratorio Strutture dell'ISTEDIL di Guidonia Montecelio (Roma). Il carico è stato applicato mediante un martinetto idraulico che contrastava su un telaio di riscontro secondo lo schema riportato in figura 2. Durante la prova sono stati acquisiti elettronicamente il carico applicato e lo scorrimento relativo tra trave e soletta per mezzo di 4 trasduttori. I limitatori laterali posizionati alla base dei campioni garantivano una reazione di serraggio, per prevenire l'apertura dei provini. Le prove sono state condotte secondo le norme UNI EN 26891 [3]. Noto il carico ultimo del provino F_U (inizialmente stimato sulla base di valutazione teoriche ed eventualmente corretto durante l'esecuzione delle prove) si è applicata la seguente procedura di carico:

- carico crescente fino a $0.4 \cdot F_U$, con una velocità di applicazione del carico costante e pari a $0.2 \cdot F_U / \text{min}$, mantenuto tale per 30 s;
- carico decrescente fino a $0.1 \cdot F_U$ e mantenuto tale per 30s;
- carico crescente fino al carico ultimo oppure ad uno scorrimento di 15 mm; per $F > 0.7 \cdot F_U$ la velocità dello scorrimento è stata regolata in modo tale da raggiungere il carico ultimo in un tempo addizionale da 3 a 5 min.

A12

Appendice (A) Abstract

Per ognuna delle venti prove effettuate sono stati ricavati i diagrammi carico-scorrimento relativi ai 4 trasduttori elettronici, 2 dei quali posizionati in alto e 2 in basso, ed inoltre il carico massimo e lo spostamento massimo a rottura e la rigidità in esercizio. In figura 3 sono riportati, a titolo di esempio, i diagrammi carico-tempo e carico-scorrimento relativi ad uno dei provini. I campioni senza i denti di legno hanno evidenziato un comportamento carico-scorrimento del tipo elasto-plastico, con il tratto orizzontale che si manifesta al superamento del valore di aderenza legno-calcestruzzo.

I campioni con i denti di legno, invece, hanno mostrato un comportamento più complesso: al primo tratto di rigidità finita, seguono un breve tratto orizzontale di scorrimento a carico costante, dovuto al superamento della soglia di aderenza, un successivo tratto crescente di rigidità minore, un ulteriore tratto orizzontale relativo al superamento della resistenza allo schiacciamento dei denti di legno, e infine un tratto discendente.

A13

Appendice (A) Abstract

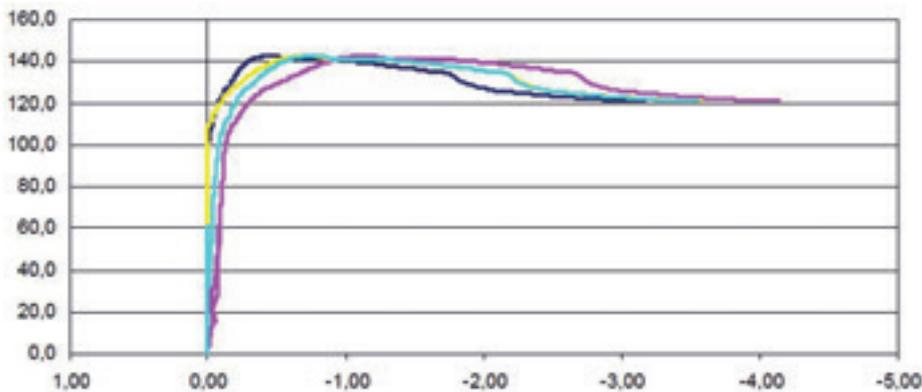


Fig. 3 Diagrammi carico (kN) – scorrimento (mm) tipici di un provino, come rilevato dai quattro trasduttori posizionati come in figura 2.

A14

Appendice (A) Abstract

Inoltre, con riferimento alle resistenze, si è osservato che:

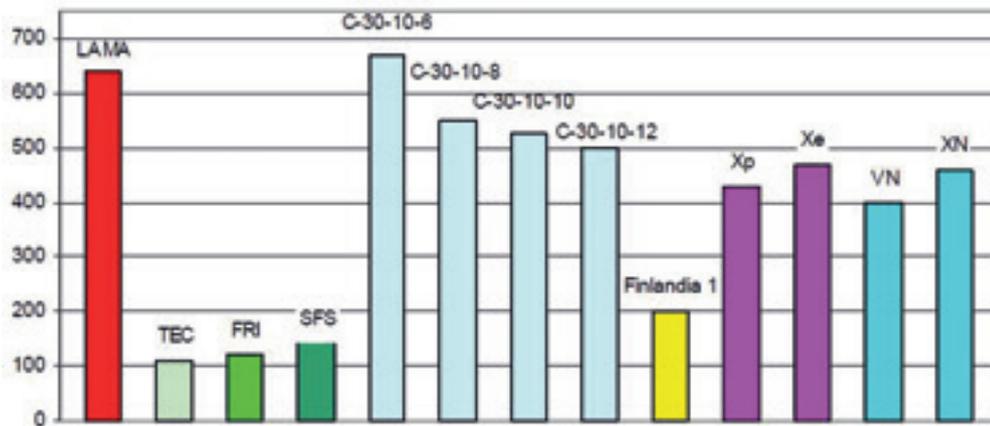
- la connessione senza denti ma con getto di malta, che fa affidamento esclusivamente sulla aderenza, presenta valori di resistenza doppi rispetto a quelli della connessione che era stata originariamente proposta in assenza di denti e di malta;
- le resistenze specifiche relative ai provini con i denti di legno e malta sono comprese in un intervallo tra 50 e 60 N/mm; la presenza dello strato di resina aumenta tale resistenza del 15% circa;
- la modifica del traliccio in corrispondenza dei denti di calcestruzzo non comporta alcun incremento della resistenza, avvenendo la rottura per schiacciamento dei denti di legno.

Infine, tutte le nuove tipologie di connessione mostrano rigidzze in campo elastico K_{ser} circa doppie rispetto a quella della connessione originale e abbastanza simili tra loro, come prevedibile essendo, in tutti i casi, il tratto iniziale della curva carico - scorrimento governato dall'aderenza.

A15

Appendice (A) Abstract

La rigidezza media normalizzata di tutti i provini con connessione a denti di legno è pari a circa 500 N/mm^2 , valore certamente ragionevole se confrontato con i risultati di numerose esperienze precedenti su tipologie simili [4] o con assai differenti tipologie di connessione legno - calcestruzzo, alcune delle quali riassunte nel diagramma di figura 4, ripreso dai riferimenti [5] e [6].



A16

Appendice (A) Abstract

4 Interpretazione e modellazione

La fase sperimentale preliminare della ricerca ha evidenziato la possibilità di migliorare il comportamento della connessione, con particolare riferimento allo stato limite ultimo. L'osservazione diretta delle condizioni dei denti di legno a fine prova, previa apertura dei campioni, ha dimostrato l'importanza della resistenza allo schiacciamento dei denti e, quindi, dell'incremento del loro numero con riduzione della lunghezza e, quindi, del passo. Sulla base di tali osservazioni è stato impostato uno studio numerico con l'ausilio del codice Ansys 9.0, preliminare ad una ulteriore fase sperimentale, prendendo in esame provini con denti con passo 300 mm e getto di malta, con lunghezza del provino pari 600 mm (due volte il passo dei denti), al fine di sfruttare la doppia simmetria della loro sezione trasversale. I provini sono stati discretizzati utilizzando elementi SOLID45 a 8 nodi, con funzioni di forma lineari. Nella realizzazione della mesh di elementi finiti è stato effettuato un infittimento nella zona di maggior interesse vicina ai pioli di legno, al fine di ottenere una distribuzione tensionale più accurata.

A17

Appendice (A) Abstract

L'elemento in calcestruzzo è stato schematizzato come omogeneo e isotropo, ipotizzando, inoltre, una perfetta aderenza tra malta ($f_{ck} = 65 \text{ N/mm}^2$, $E = 36000 \text{ N/mm}^2$), acciaio e getto di calcestruzzo ($f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, $E = 29000 \text{ N/mm}^2$). Per il legno lamellare si è fatto riferimento alla classe resistente GL24h, le cui caratteristiche meccaniche di rigidezza e di resistenza sono state ricavate dalla normativa EN 1194 [7]. In fase elastica è stato definito il materiale ortotropo ($E_x = 11600$, $E_y = E_z = 390 \text{ N/mm}^2$, $PR_{xy} = PR_{yz} = PR_{xz} = 0.3$, $G_{xy} = G_{yz} = G_{xz} = 720 \text{ N/mm}^2$). In fase post-elastica sono stati definiti, per ciascuna direzione principale, i valori delle tensioni di snervamento a trazione, compressione e a taglio, completando una superficie di rottura secondo il criterio di rottura di Norris. Si osserva che il modello adottato definisce valori della trazione ortogonale alla fibratura sensibilmente discosti da quelli della normativa ma tale grossolana approssimazione è irrilevante nella valutazione della resistenza ultima dei provini, legata in definitiva alla resistenza a compressione parallela alla fibratura, che determina la rottura per schiacciamento del dente.

A18

Appendice (A) Abstract

Le superfici di contatto legno-malta e legno-clt sono state modellate con elementi di superficie a 4 nodi CONTA173 e TARGE170, che consentono di ottenere un contributo di resistenza dovuto alla aderenza tra i due materiali (modellato tramite un comportamento ad attrito), di variare la pendenza del tratto iniziale della curva carico-scorrimento in modo che la curva ottenuta dal modello abbia una rigidezza iniziale simile alla rigidezza media dei provini e di evitare la compenetrazione fra i denti di legno e quelli di calcestruzzo. I valori dei coefficienti di attrito attribuiti (pari a 0.55 per il contatto legno malta e 0.30 per il contatto legno-calcestruzzo) sono stati determinati al fine di un riscontro numerico - sperimentale per questo particolare modello numerico e, come tali, non hanno una precisa valenza fisica e non possono essere assunti come valori di riferimento in assoluta generalità. È stata simulata numericamente una prova di scorrimento in controllo di spostamento, impedendo lo spostamento longitudinale della faccia inferiore dell'elemento in calcestruzzo per simulare il contrasto ed imponendo uno spostamento pari a 5 mm alla faccia superiore dell'elemento in legno, procedendo in controllo di spostamento mediante step sufficientemente piccoli.

A19

Appendice (A) Abstract

Il modello è stato tarato in modo da ottenere una curva carico-scorrimento simile a quelle sperimentali. In figura 5 è riportata la deformata del dente di legno.

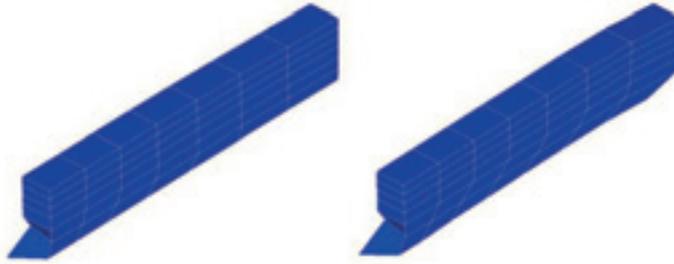


Fig. 5 Deformata del dente di legno a) interno e b) di estremità.

I pioli di legno presentano, ovviamente, deformazioni molto maggiori rispetto a quelle del conglomerato e raggiungono lo schiacciamento nella parte anteriore compressa contro il calcestruzzo, mentre rimangono quasi indeformati nella parte opposta. Nel dente di estremità, invece, si nota una deformazione a taglio più pronunciata che interessa, quindi, anche la parte terminale e in alcuni campioni si è osservata la rottura per scorrimento.

A20

Appendice (A) Abstract

Nelle figure 6a e 6b sono riportate, rispettivamente, le distribuzioni delle tensioni di compressione parallela alle fibre, e delle tensioni tangenziali, che raggiungono valori prossimi alla corrispondente resistenza, nei denti di legno.

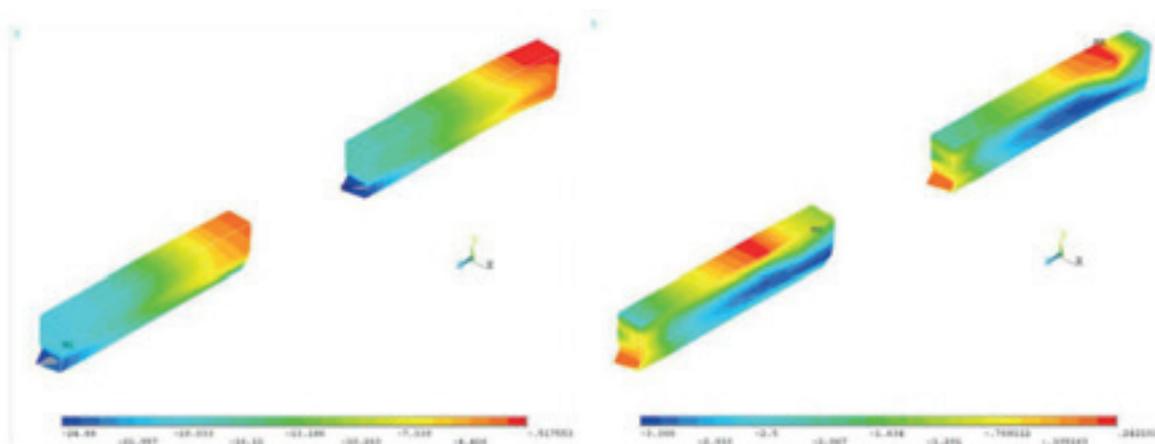


Fig. 6 Modello con denti di legno a passo 150 mm: tensione di compressione parallela alla fibratura (sinistra) e tensione tangenziale (destra).

A21

📌 Appendice (A) Abstract

Si può notare che la massima tensione tangenziale si sviluppa nella sezione di base dei denti di legno, in corrispondenza dell'attacco con il travetto, raggiungendo un valore prossimo al valore limite per un'area non molto estesa, non sufficiente a determinare la rottura del dente a taglio e lo scorrimento dello stesso. Inoltre la massima tensione di compressione parallela si sviluppa sulla faccia verticale dei denti di legno a contatto con il getto di malta e di calcestruzzo; si può osservare anche che il valore massimo è attinto soltanto nella parte iniziale dei denti e non lungo tutto il loro volume.

Lo spostamento imposto è stato applicato attraverso successivi incrementi, per ciascuno dei quali si è ottenuta la soluzione in termini di tensioni e di deformazioni e, quindi, si è ricavato il diagramma carico-spostamento. Le caratteristiche del modello sono state tarate in modo da ottenere una curva intermedia tra quelle ottenute sperimentalmente rispetto sia alla rigidità iniziale sia al carico ultimo.

A22

📌 Appendice (A) Abstract

In figura 7 è rappresentata la curva ottenuta insieme a quelle sperimentali. Come può evincersi dal grafico, la curva simulata mostra una rigidità iniziale di 420 N/mm² e una resistenza ultima normalizzata di 50 N/mm, valori molto prossimi ai corrispondenti valori medi ricavati nei provini reali.

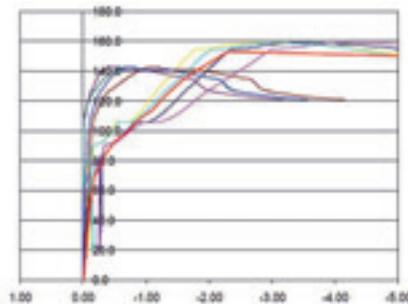


Fig. 7 Confronto tra le curve carico (kN) - spostamento (mm) sperimentali e quella numerica (tratto spesso rosso).

L'analisi numerica ha confermato che la crisi della connessione avviene per schiacciamento dei denti del legno; pertanto, al fine di ridurre la sollecitazione su ciascun dente, i provvedimenti che si devono prendere in considerazione riguardano sia l'incremento del numero di denti per unità di lunghezza sia l'incremento della sezione trasversale dei denti.

A23

Appendice (A) Abstract

5 Rigidezza e Resistenza della Connessione

Lo studio sperimentale precedente e l'analisi numerica hanno fornito le indicazioni necessarie per definire quella che al momento appare la soluzione ottimale che contempera i requisiti statici con le esigenze costruttive. Proprio con riferimento a tali esigenze, è stata effettuata una seconda campagna sperimentale, utilizzando 12 campioni da sottoporre a prova di scorrimento e 8 campioni di solaio da sottoporre a prova di flessione. Per la connessione sono stati utilizzati due tipi di malta (nel seguito definiti M1, già utilizzata nella campagna precedente, e M2) e due valori per la lunghezza dei denti di legno (100 mm e 50 mm), conservando la distanza netta tra due denti successivi, ossia la lunghezza del dente di calcestruzzo, pari a 50 mm, e le dimensioni trasversali pari a 20×22 mm. Tutte queste prove sono state effettuate presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Trento.

A24

Appendice (A) Abstract

5.1 Prove Push-Out

I campioni sono costituiti ciascuno da due spezzoni di trave di legno lamellare di lunghezza 450 mm e sezione 100×120 mm con fresatura sulla faccia a contatto con il calcestruzzo, collegati ad un elemento centrale di calcestruzzo armato di lunghezza 450 mm e sezione 160×100 mm (Figura 8). In tutti i campioni sono stati inseriti listelli di legno tra gli elementi in legno lamellare e il getto di calcestruzzo centrale al fine di simulare la presenza dell'elemento di interposizione e, quindi, la reale superficie di contatto tra legno e soletta in calcestruzzo.

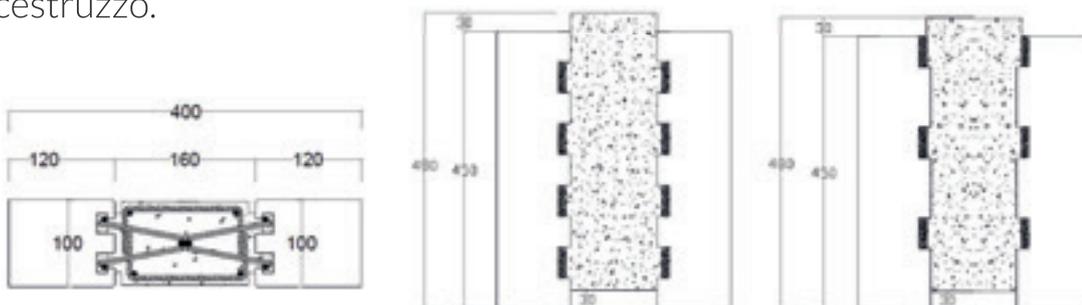


Fig. 8 Sezione e geometria dei campioni di prova tipo "push-out".

A25

Appendice (A) Abstract

Sono stati ottenuti, in definitiva, le 4 differenti tipologie di connessione indicate in tabella 1, per ciascuna delle quali sono stati realizzati 3 esemplari.

Tab. 1 Tipologie dei campioni di prova realizzate.

<i>Sigla provino</i>	<i>Numero provini</i>	<i>Passo denti (mm)</i>	<i>Lunghezza denti (mm)</i>	<i>Malta</i>
P10M1 (a,b,c)	3	100	50	M1
P10M2 (a,b,c)	3	100	50	M2
P15M1 (a,b,c)	3	150	100	M1
P15M2 (a,b,c)	3	150	100	M2

Le prove di push-out sono state effettuate secondo lo schema di figura 9. Il carico sui campioni è stato applicato mediante la macchina di prova Galdabini (portata massima 100 kN). Durante la prova sono stati acquisiti, mediante centralina elettronica asservita a computer, il carico applicato e lo scorrimento relativo fra gli elementi in legno e la soletta, misurato tramite 4 trasduttori induttivi.

A26

Appendice (A) Abstract

Per ogni campione sono stati realizzati due strati in gesso alla base degli spezzoni di trave ed uno in sommità alla parte centrale di calcestruzzo per ottenere la perfetta planarità delle superfici di appoggio e la loro ortogonalità rispetto alla direzione di applicazione del carico. Per ogni prova sono stati ricavati i diagrammi carico - scorrimento relativi ai 4 trasduttori di spostamento (Figura 10) e successivamente, dopo averne verificato la congruenza, il diagramma carico-scorrimento medio. Su tali diagrammi sono stati ricavati:

- il carico di rottura F_u e lo scorrimento medio $\delta (F_u)$ in corrispondenza di esso, nonché la resistenza normalizzata rispetto alla lunghezza della connessione;
- le rigidzze normalizzate rispetto alla lunghezza della connessione calcolate in corrispondenza di prefissati livelli di carico F rispetto al carico di rottura F_u .

A27

Appendice (A) Abstract



Fig. 9 Macchina di prova "Galdabini" e disposizione della strumentazione durante la prova.

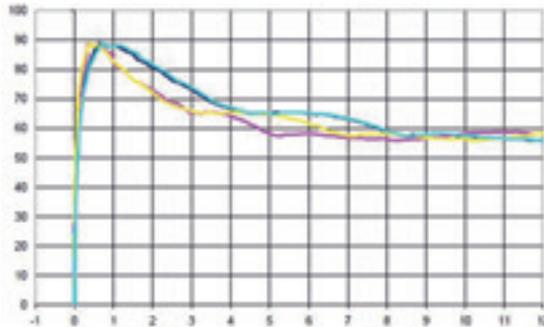


Fig. 10 Diagrammi carico (kN) – scorrimento (mm) dei quattro trasduttori del campione P15M1a (ai valori di carico indicati si deve sommare il peso del dispositivo di ripartizione pari a 0.8 kN/m²).

A28

Appendice (A) Abstract

Le curve carico-scorrimento ottenute hanno confermato quanto già precedentemente riscontrato: al primo tratto di elevata rigidezza seguono un breve tratto orizzontale (scorrimento a carico costante, dovuto al superamento della aderenza), un successivo tratto elastico con rigidezza minore rispetto al tratto iniziale (nel corso del quale la resistenza è affidata ai denti), un tratto orizzontale a carico costante più o meno esteso (quando è vinta la resistenza allo schiacciamento dei denti di legno) e, infine, un tratto discendente.

A29

Appendice (A) Abstract

Tab. 2 Resistenze e rigidezze normalizzate medie dei campioni push-out.

Sigla provino	Resistenza normalizzata (N/mm)	Rigidezze normalizzate (N/mm ²)	
		k_{ser}	k_u
P10M1 (a,b,c)	93	2413	702
P10M2 (a,b,c)	87	4432	947
P15M1 (a,b,c)	102	1428	372
P15M2 (a,b,c)	72	901	381

In tabella 2, per ciascuna tipologia di connessione, sono riportate le resistenze normalizzate medie (cioè le resistenze divise per la lunghezza della connessione, pari a 420 mm, su ciascuna faccia). Sono inoltre riportate le rigidezze normalizzate medie k_{ser} (corrispondenti alla retta secante passante per i punti della curva al carico $0.1 \cdot F_u$ e $0.4 \cdot F_u$) e le rigidezze normalizzate medie allo stato limite ultimo k_u (corrispondenti alla retta secante passante per i punti della curva al carico $0.1 \cdot F_u$ e $0.8 \cdot F_u$).

A30

Appendice (A) Abstract

5.1 Prove di Flessione

I campioni sottoposti a prova sono porzioni di solaio legno-calcestruzzo di larghezza 1.12 m e lunghezza $L = 5.5$ m. Ogni campione è composto da due travi di legno lamellare di lunghezza 5500 mm e sezione 100×160 mm, con fresatura sulla faccia superiore e soletta di spessore 50 mm in calcestruzzo $R_{ck} \approx 30$ MPa. Tra trave lignea e soletta si forma un elemento di calcestruzzo (sezione 50×54 mm), attraversato dal traliccio elettrosaldato, avente la sola funzione di cassero. I campioni sono stati realizzati con 4 differenti tipologie di connessione, come riportato in tabella 3.

Tab. 3 Tipologie dei campioni di solaio.

Sigla provino	Numero provini	Passo denti (mm)	Lunghezza denti (mm)	Malta
S10M1 (a, b)	2	100	50	M1
S10M2 (a, b)	2	100	50	M2
S15M1 (a, b)	2	150	100	M1
S15M2 (a, b)	2	150	100	M2

A31

Appendici: Abstract e Verifica Conessioni

Le prove di flessione sono state effettuate secondo lo schema di prova rappresentato nelle figure 11 e 12. Il carico è stato applicato su 4 linee per mezzo di travi di ripartizione in acciaio; il numero e la posizione di tali linee sono stati determinati in modo da indurre nel solaio effetti (momento massimo, taglio massimo e freccia in mezzeria) simili a quelli indotti da un carico uniformemente distribuito di pari risultante. La forza è stata applicata utilizzando un martinetto idraulico da 630 kN collegato ad una traversa di riscontro vincolata al pavimento del laboratorio, posta in asse al punto medio delle travi in prova, ed alla trave di ripartizione principale. In corrispondenza degli appoggi e dei punti di applicazione del carico sono state poste delle piastre di ripartizione d'acciaio di larghezza 100 mm. Gli appoggi sono stati realizzati con dei rulli, di cui uno fisso (cerniera) e l'altro atto a consentire gli spostamenti longitudinali (carrello).

A32

Appendici: Abstract e Verifica Conessioni

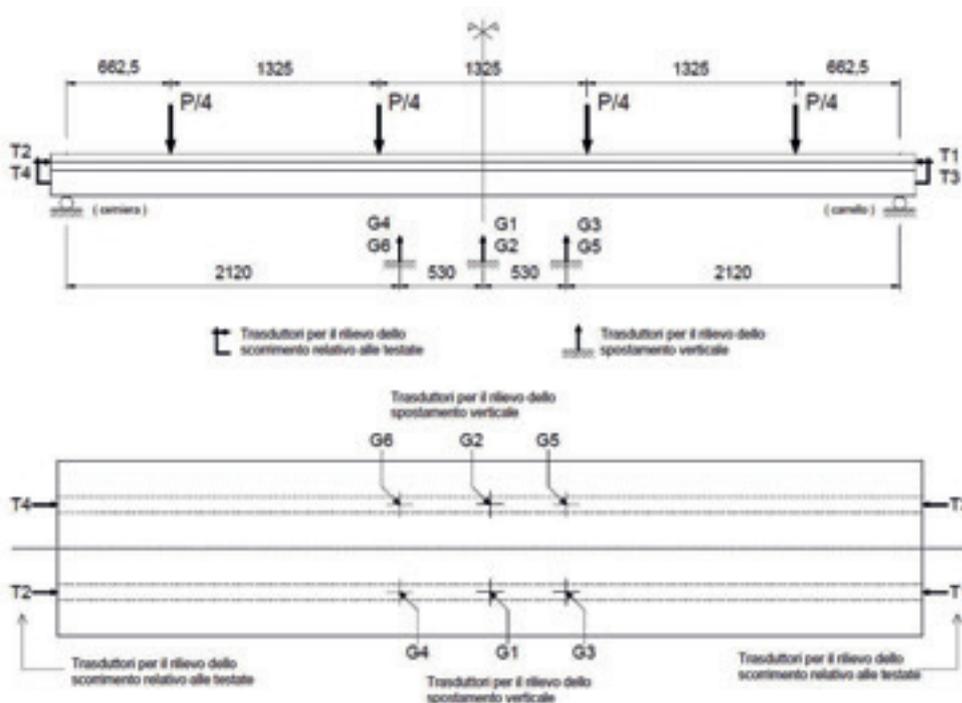


Fig. 11 Schema delle prove di carico a flessione e posizione della strumentazione.

A33

📌 Appendici: Abstract e Verifica Conessioni



Fig. 12 Apparato di prova e tipica rottura di una delle travi lamellari (provino S15M1a).

A34

📌 Appendice (A) Abstract

Durante la prova sono stati rilevati con continuità il carico totale applicato al campione, gli abbassamenti in mezzeria (canali G1 e G2) ed in due punti distanti 530 mm ($L/10$) dalla mezzeria (canali G3, G4, G5 e G6) tramite 6 misuratori di spostamento resistivi GEFTRAN, e gli scorrimenti relativi trave-soletta agli appoggi (canali T1, T2, T3 e T4) tramite 4 trasduttori induttivi HBM. La forza imposta è stata rilevata con una cella di carico (da 300 kN, classe 1) interposta tra il martinetto e la trave.

Al carico impresso dal martinetto va aggiunto il peso proprio delle travi di ripartizione secondarie e dei traversi, pari a 4.72 kN, corrispondente ad un carico uniformemente distribuito di 0.8 kN/m^2 . Per ogni prova si sono ricavati i diagrammi carico - scorrimento relativi alle testate delle travi e i diagrammi carico - abbassamento, determinando il carico di rottura e i valori di scorrimento e di freccia in corrispondenza di prefissati livelli di carico.

A35

Appendice (A) Abstract

La forza massima che impegna la connessione, in corrispondenza delle testate, è stata ricavata mediante la relazione $F = V \cdot \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_1 / (EJ_{ef})$ [8], determinando il parametro γ_1 e i valori a_1 e EJ_{ef} sulla base dei valori di rigidità normalizzata allo stato limite ultimo k_u , ottenuti dalle prove elementari push-out. È stato riscontrato un ottimo accordo tra i valori della sollecitazione sulla connessione, così determinati, in corrispondenza del carico di rottura del solaio e quelli ricavati dalle prove push-out.

Ciò dimostra come, a fronte di un elemento ligneo molto esile sulla luce di appoggio (rapporto luce/altezza sezione pari a circa 35), la tipologia “struttura composta” sia essenziale per la statica del solaio e come la rottura del collegamento anticipi di poco la messa fuori servizio del medesimo.

I risultati e i corrispondenti diagrammi di tutte le prove sono riportati nei pertinenti rapporti di prova. In figura 13 sono rappresentati i diagrammi carico - scorrimento e le curve carico - freccia di due trasduttori del provino S15M1a.

A36

Appendice (A) Abstract

In tutti i provini, il carico di rottura è stato registrato in corrispondenza di un primo cedimento della connessione; dopo tale carico sono seguite una o più riprese di carico fino alla rottura di una trave in legno lamellare per trazione innescata sempre dalla presenza di un nodo nella lamella inferiore in zona centrale o di un giunto a dita nella medesima (Fig. 12).

Nelle figure da 14 a 16 sono riportati, a titolo di esempio per il campione S15M1a, i diagrammi delle seguenti variabili in funzione del carico applicato:

- il valore della freccia, confrontata con i valori teorici relativi ai casi limite di rigidità nulla della connessione ($EJ_0 = 1.79 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$) ed infinita ($EJ_\infty = 9.10 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$), valutati assumendo i valori dei moduli elastici dei materiali $E_{LLGL24} = 11600$ e $E_{CLSRck30} = 31400 \text{ Nmm}^2$;
- la rigidità efficace $EJ_{ef} = 5 \cdot q \cdot L^4 / (f \cdot 384)$;
- l'efficienza della connessione, espressa dal parametro

$$\eta = (EJ_{ef} - EJ_0) / (EJ_\infty - EJ_0).$$

A37

Appendice (A) Abstract

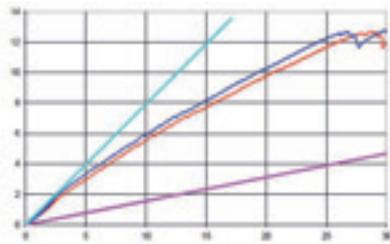


Fig. 14 Diagrammi carico (kN/m^2) – freccia (mm) (trasduttori G1 e G2) e confronto con i casi limite di rigidezza della connessione nulla ed infinita (campione S15M1a).

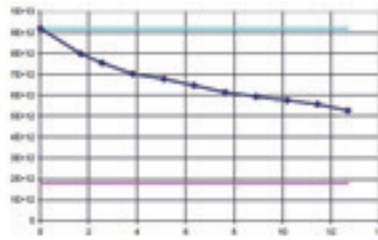


Fig. 15 Rigidezza efficace ($\text{N}\cdot\text{mm}^2$) in funzione del carico (kN/m^2) e confronto con i casi limite di rigidezza della connessione nulla ed infinita (campione S15M1a).

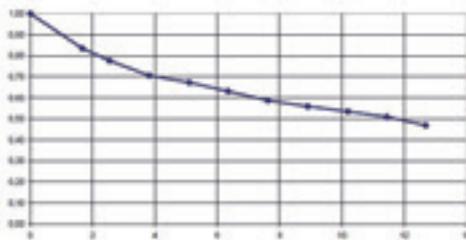


Fig. 16 Efficienza della connessione in funzione del carico (kN/m^2) (campione S15M1a)

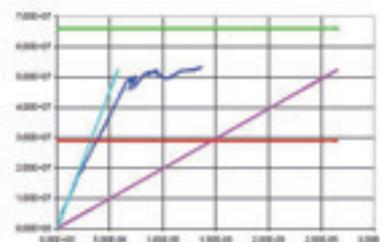


Fig. 17 Diagramma momento ($\text{N}\cdot\text{mm}$) – curvatura ($1/\text{mm}$) e confronto con i casi limite di rigidezza della connessione nulla ed infinita (campione S15M1a)

A38

Appendice (A) Abstract

Si rammenta come, nella lettura dei diagrammi, ai valori di carico imposto dal martinetto debba essere sommato il peso proprio delle travi di ripartizione pari a 0.8 kN/m^2 . Il peso proprio dei solai sottoposti a prova è invece pari a circa 1.6 kN/m^2 . Infine, la figura 17 mostra la relazione momento - curvatura per il medesimo campione S15M1a, ricavata nel tratto centrale a momento costante, con momento flettente pari a $P \cdot L/8$ (si veda la figura 11).

Tale relazione è posta a confronto con le corrispondenti relazioni teoriche dei casi limite di rigidezza della connessione nulla ed infinita. Sono anche indicati, con due tratti orizzontali, i valori dei momenti flettenti limiti nei due casi citati: quello superiore, relativo alla connessione a rigidezza infinita, è raggiunto per una resistenza a flessione nel legno pari a 24 MPa , mentre quello inferiore, relativo alla connessione a rigidezza nulla, è determinato per raggiungimento della resistenza a compressione nel calcestruzzo (resistenza cilindrica pari a $24,9 \text{ MPa}$).

A39

Appendice (A) Abstract

La tabella 4 riassume sinteticamente i valori delle rigidzze efficaci medie dei campioni di solaio e delle efficienze delle connessioni, tutti ricavati in corrispondenza del carico di esercizio, al fine di un confronto immediato tra le prestazioni delle connessioni sottoposte a sperimentazione.

Si deve osservare che la rigidzza efficace è stata valutata, nei diagrammi carico-spostamento, come la pendenza della retta secante in corrispondenza del carico di esercizio pari a 6.1 kN/m^2 , somma del carico fisso (4.1 kN/m^2) e di quello variabile (2.0 kN/m^2).

Tab. 4 Rigidzze efficaci e efficienze medie della connessione al valore del carico di esercizio.

<i>Provino</i>	<i>Rigidzza (N·mm²)</i>	<i>Efficienza connessione</i>
S10M1	$8.03 \cdot 10^{12}$	0.88
S10M2	$7.30 \cdot 10^{12}$	0.80
S15M1	$8.25 \cdot 10^{12}$	0.91
S15M2	$7.23 \cdot 10^{12}$	0.79

Appendice (A) Abstract

6 Conclusioni

La particolare connessione legno-calcestruzzo descritta è stata sperimentata e ottimizzata in fasi successive, mediante prove sperimentali e modellazione numerica. In una prima estesa campagna sperimentale sono state prese in considerazione diverse soluzioni al fine di valutare l'influenza dei vari parametri sul comportamento statico del sistema composto. Successivamente, l'attenzione si è concentrata sulla soluzione ritenuta ottimale dal punto di vista statico, tecnologico, economico. L'indagine ha messo in evidenza come la connessione proposta risulti molto efficiente, potendo contare su un comportamento di prima fase particolarmente rigido ma senza che ciò vada a scapito di una fase post-elastica assai pronunciata e caratterizzata da buone riserve di duttilità. Ciò è, in buona sostanza, da ascrivere alla transizione tra un comportamento di prima fase dominato dalla aderenza tra materiali e quello di seconda fase caratterizzato da pronunciate deformazioni pseudo-plastiche a compressione dei denti di legno che intervengono prima della rottura definitiva dei medesimi denti.

Appendice (A) Abstract

La lunghezza relativa dei denti di legno e calcestruzzo è stata infatti ottimizzata, sulla base dell'indagine numerica, proprio per ottenere tale interessante comportamento senza che intervengano prima rotture fragili (lato calcestruzzo o lato legno): tale comportamento è stato puntualmente verificato, durante la sperimentazione, sia mediante le prove elementari sia tramite le prove a scala reale sui solai. Le numerose prove sperimentali condotte sui solai hanno infine dimostrato, stante la limitata altezza dell'elemento ligneo utilizzato in rapporto alla luce del solaio, che la connessione è essenziale per garantire la portata al solaio composto. La cosiddetta efficienza della connessione in esercizio è assai elevata, sempre superiore a 0.75: conseguentemente si evidenzia un comportamento che, fino al limite di esercizio, è assai prossimo a quello di un solaio composto a connessione rigida. La sperimentazione, supportata anche da un'accurata modellazione numerica, ha confermato quindi un comportamento affidabile del sistema, fornendo per la connessione valori di rigidezza e resistenza adeguati alle prestazioni richieste e in piena sintonia con quanto inizialmente ipotizzato.

A42

Appendice (A) Abstract

La tipologia di struttura composta presentata trova applicazione sicuramente nella costruzione di solai e coperture nel settore civile, ma non sono da escludere ulteriori e differenti applicazioni in ambiti diversi.

RINGRAZIAMENTI

Le attività qui descritte sono state svolte nell'ambito di un progetto di ricerca sviluppato dalla Coperlegno s.r.l. di Roma in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università degli Studi di Trento e l'ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) e con un parziale contributo del progetto Dipartimento Protezione Civile - ReLUIS (Rete Laboratori Universitari Ingegneria Sismica), nell'ambito della linea di ricerca 1, task 3a "Solai, volte e coperture".

A43

Appendice (A) Abstract

BIBLIOGRAFIA

- [1] Piazza M., Tomasi R., Modena R., Strutture in legno. Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2005
- [2] CNR DT 206/2007, Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno, Commissione di studio e consultiva per le norme tecniche relative alle costruzioni, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 2007
- [3] UNI EN 26891, Strutture di legno – Assemblaggi realizzati tramite elementi meccanici di collegamento – Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità, CEN – Comitato Europeo di Normazione, Bruxelles, 1991
- [4] Gutkowsky R., Brown K., Shigidi A., Natterer J., “Investigation of Notched Composite Wood-Concrete Connections”, ASCE, 130 (10), 2004

Appendice (A) Abstract

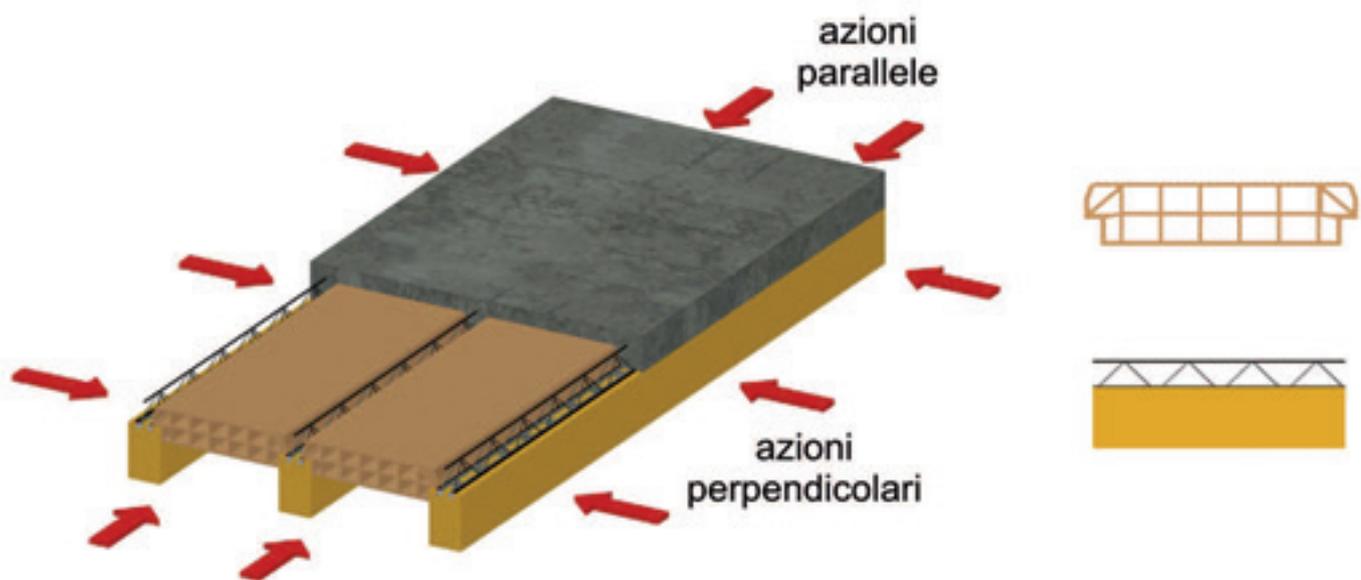
- [5] Piazza M., Ballerini M., “Tecniche di realizzazione di solai composti in legno e calcestruzzo”, in Tecnologie avanzate nell'impiego strutturale del legno, IX LIGNOMECC, CNR-ITL, 1999: 133-151
- [6] Ballerini M., Crocetti R., Piazza M., “An experimental investigation on notched connections for timber-concrete composite structures”, Proc. 7th World Conference on Timber Engineering WCTE 2002, Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia, CD-ROM, 2002
- [7] UNI EN 1194, Strutture di legno – Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici, CEN – Comitato Europeo di Normazione, Bruxelles, 1999
- [8] UNI EN 1995-1-1, Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici, CEN – Comitato Europeo di Normazione, Bruxelles, 2004

I SOLAI E LE CONNESSIONI TRA GLI ELEMENTI

Com'è noto, il solaio ha la funzione di trasferire le azioni dai rispettivi punti di applicazione alle strutture principali dell'edificio. Pertanto deve avere un'adeguata resistenza e rigidità in presenza dei carichi verticali, anche per garantire un adeguato livello di comfort, e un'adeguata resistenza e rigidità in presenza di azioni sismiche.

Con particolare riferimento al caso sismico, le norme prescrivono che il solaio “possa essere considerato” infinitamente rigido nel proprio piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistente. In altre parole il solaio deve costituire un diaframma orizzontale in grado di trasmettere le forze tra i diversi sistemi resistenti a sviluppo verticale (telai e/o pareti). Le norme sismiche prescrivono anche che “quando tale verifica sia necessaria si considereranno agenti sui diaframmi le forze ottenute dall'analisi, aumentate del 30%”.

Il funzionamento a diaframma è indispensabile perché l'insieme strutturale risultante sia in grado di reagire alle azioni esterne orizzontali con un comportamento di tipo globale. A tal fine i solai devono essere ben collegati strutture verticali e dotati di una sufficiente rigidità e resistenza nel loro piano. Le norme sismiche raccomandano anche di preoccuparsi, nei casi di miglioramento o adeguamento degli edifici esistenti, di ridurre le carenze dei collegamenti tra pareti e solai e l'eccessiva deformabilità dei solai, prevedendo interventi volti ad “assicurare alla costruzione un buon comportamento d'assieme”, nel quale i solai costituiscono “un vincolo per le pareti sollecitate da azioni ortogonali al proprio piano” e specifica che, in assenza di tali caratteristiche, ossia per gli edifici in muratura esistenti con solai flessibili, va effettuata “l'analisi delle singole pareti o dei sistemi di pareti complanari che costituiscono l'edificio, ciascuna analizzata come struttura indipendente, soggetta ai carichi verticali di competenza ed all'azione del sisma nella direzione parallela alla parete”.



Le tipologie di solaio che soddisfano i suddetti requisiti sono individuate dalle stesse norme:

- a) a soletta piena in c.a.;
- b) in latero-cemento con soletta in c.a. di spessore ≥ 40 mm;
- c) in struttura mista con soletta in c.a. di spessore ≥ 50 mm, collegata da connettori a taglio agli elementi strutturali di solaio in acciaio o in legno.

Le norme sismiche non precludono la possibilità di “altre soluzioni costruttive”, per le quali “l’ipotesi di infinita rigidità dovrà essere valutata e giustificata dal progettista”. Al riguardo le Istruzioni CNR-DT 206/2006 (punto 7.12) recitano: “la connessione tra soletta e trave in legno va realizzata con sistemi dei quali sia stata dimostrata la validità per mezzo di adeguate campagne sperimentali condotte secondo le pertinenti norme. La rigidità K_{ser} e la capacità portante $F_{v,Rk}$ della connessione trave-soletta dovranno essere determinate tramite prove sperimentali e sulla base di teorie di comprovata validità che tengano conto delle specifiche caratteristiche della connessione così come sarà utilizzata in opera”. In particolare dovrà essere considerata l’eventuale presenza di una distanza non nulla tra intradosso soletta ed estradosso trave (conseguente ad esempio alla presenza di un assito).

Oltre che sulle connessioni con spinotti, le stesse istruzioni forniscono le seguenti prescrizioni sulla rigidità e resistenza di connessioni realizzate con denti di calcestruzzo, che consistono nella realizzazione di “denti di calcestruzzo disposti entro opportune fresature nel legno e ottenuti mediante lo stesso getto della cappa”. La resistenza della connessione sarà assunta pari al minimo tra i seguenti valori calcolati:

- resistenza a scorrimento longitudinale e a flessione locale del legno indebolito dalle fresature;
- resistenza a taglio e flessione del dente di calcestruzzo;
- resistenza a rifollamento del legno.

La valutazione della rigidità della connessione dovrà tener conto del reale comportamento sperimentale.

Ancora le Istruzioni CNR-DT 206/2006 ammettono “l’uso di altri sistemi di connessione purché la resistenza e la rigidità vengano chiaramente individuate su base sperimentale e teorica”.

Infine, con riferimento alla deformabilità del solaio misto legno-calcestruzzo, il calcolo della freccia della struttura mista legno calcestruzzo dovrà tenere conto della deformabilità delle connessioni. In mancanza di una valutazione più accurata, l’incremento di freccia della trave inflessa, Δw , dovuto alla deformabilità delle connessioni, può essere assunto pari a:

$$\Delta w = 10 \cdot \delta$$

dove:

- $\delta = V/K_{ser}$ è il massimo scorrimento della connessione, in *mm*;
- V è il taglio sulla connessione più sollecitata, in *N*;
- K_{ser} è la rigidità della connessione, in *N/mm*.

Si ricorda, infine, che come larghezza di soletta collaborante con la trave di legno va assunta quella della nervatura incrementata di un quinto della luce. In ogni caso tale dimensione non può superare l’interasse tra le travi.

1.2 Comportamento delle travi composte a connessione deformabile

L’accoppiamento legno-calcestruzzo consente di sfruttare meglio le caratteristiche dei due materiali, realizzando sezioni più efficienti a partire da elementi di ridotte dimensioni. L’efficienza del sistema è tanto più elevata quanto più è rigida la connessione tra elemento in legno e soletta in c.a., ossia quanto più sono impediti gli scorrimenti relativi fra le superfici a contatto degli elementi

che compongono la sezione. Nel caso di connessione infinitamente rigida legno e calcestruzzo lavorano come se l'elemento fosse in un solo pezzo; se la connessione è infinitamente flessibile, invece, elemento in legno e soletta in c.a. sono disaccoppiati e lavorano in parallelo. La determinazione dello stato tensionale e deformativo può essere condotta con la teoria classica degli elementi inflessi, nell'ipotesi di Bernoulli di conservazione delle sezioni piane da cui discende la nota relazione tra momento sollecitante e curvatura della trave:

$$\chi = -\frac{M}{EJ}$$

Nel caso limite di rigidità nulla, può ipotizzarsi che si conservano piane le sezioni delle singole travi componenti, mentre nel caso di rigidità infinita l'ipotesi riguarda l'intera sezione composta. Detta k la rigidità specifica, per unità di lunghezza, del sistema di connessione, si ha:

- $k = 0$: collegamento nullo, si verifica uno scorrimento relativo longitudinale (slip) e il taglio non può essere trasmesso all'interfaccia tra legno e calcestruzzo;
- $k = \infty$: collegamento rigido, non si verifica scorrimento e il taglio viene trasmesso integralmente.

Il comportamento statico reale della sezione composta legno-calcestruzzo, quindi, è influenzato dalle rigidità flessionali ed assiali degli elementi componenti ma anche dalla deformabilità della connessione ed è sempre intermedio tra questi due casi estremi di rigidità nulla e di rigidità infinita. A causa dello scorrimento, non essendo più valida l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane per la sezione composta (ipotesi comunque valida per gli elementi di legno e di calcestruzzo separatamente), esiste un asse neutro per il legno, che lavora a tenso-flessione, e uno per il calcestruzzo, soggetto a pressoflessione. In genere, ai fini della rigidità, la sezione di calcestruzzo viene considerata interamente reagente, potendo poi disporre una armatura aggiuntiva in grado di assorbire eventuali sforzi di trazione.

Val la pena osservare che supponendo il collegamento rigido si ottiene una sopravvalutazione sia del momento di inerzia della sezione sia della forza di scorrimento a cui devono far fronte i connettori. Inoltre, ad un incremento di rigidità della connessione corrisponde un innalzamento dell'asse neutro e, quindi, un incremento della zona tesa nella trave di legno inferiore, accompagnato da una diminuzione della massima deformazione, con conseguente diminuzione di curvatura della struttura composta (Figura 2.3.1).

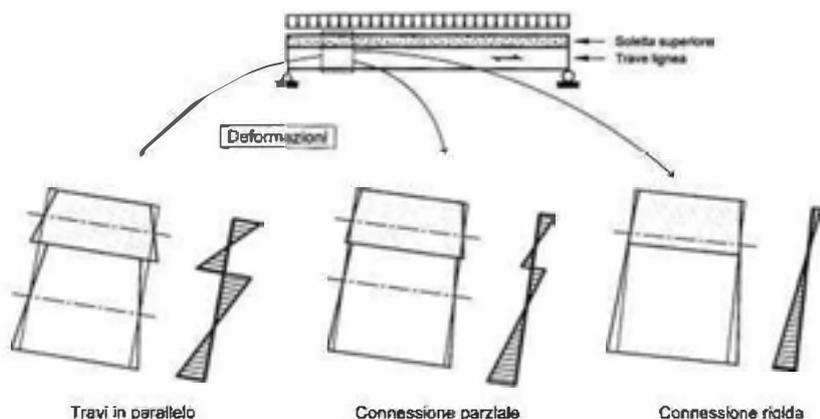


Figura 2.3.1 – Distribuzione delle deformazioni per flessione in una trave composta in funzione della rigidità della connessione (da Piazza et al., 2005)

Il progetto di una struttura composta legno-calcestruzzo segue la teoria elastica delle travi composte per calcolare la effettiva rigidezza flessionale. Aspetto fondamentale assume il coefficiente della connessione a taglio γ , il quale dipende sia dalla rigidezza dei connettori sia dalla loro spaziatura. La rigidezza efficace a flessione, che si basa sul coefficiente di taglio della connessione, è la base per il calcolo della sollecitazione dei connettori e delle tensioni nel legno e nel calcestruzzo. Il coefficiente di taglio della connessione che si ottiene con gli usuali connettori è compreso tra $0.1 < \gamma < 0.4$.

Qualunque tipo di connessione meccanica posta fra due elementi di legno o fra legno e calcestruzzo, se sottoposta a sforzi di taglio si deforma secondo la curva rappresentata in figura 2.3.2; nei calcoli allo SLU si considera la rigidezza secante al valore di rottura K_u , mentre per i calcoli agli SLE si utilizza la rigidezza secante al 40% del carico ultimo K_{ser} che corrisponde circa alla sollecitazione sul connettore per i carichi di esercizio.

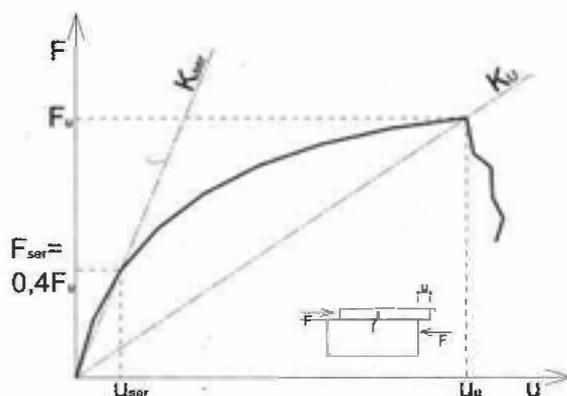


Fig. 2.3.2 – Rigidezza in esercizio K_{ser} e a collasso K_u di una trave assemblata meccanicamente (da Ceccotti et al., 2004)

Le caratteristiche meccaniche della connessione, intesa come insieme legno-connettore-calcestruzzo, devono essere determinate con apposite prove secondo la norma UNI EN 26891/1991. La verifica della connessione è soddisfatta se lo sforzo di taglio sul connettore è inferiore alla resistenza di progetto, pertanto non occorre fare ulteriori verifiche locali sul legno, sul calcestruzzo o sul connettore. Ogni tipo di connettore è caratterizzato dai propri valori di resistenza e di rigidezza; l'unico sistema di connessione perfettamente rigido è l'incollaggio.

L'aderenza fornisce un contributo importante al comportamento meccanico del solaio che, infatti, sotto carico mostra generalmente deformazioni inferiori a quelle teoriche. Ciononostante l'aderenza va portata in conto con molta prudenza, perché molto sensibile alle vibrazioni e al ritiro del legno, adottando opportuni accorgimenti in fase esecutiva.

Essendo sia il legno che il calcestruzzo materiali viscosi, il regime tensionale cambia nel tempo con una migrazione delle tensioni dal calcestruzzo al legno e un aumento delle deformazioni; pertanto, vanno eseguite verifiche sia a "tempo zero", a fenomeni lenti non ancora iniziati, che a "tempo infinito", dove si tiene conto degli effetti delle deformazioni lente assumendo moduli di elasticità e rigidezza della connessione ridotti in modo fittizio, attraverso un coefficiente di viscosità che per la connessione è quello del legno k_{def} . Gli effetti viscosi sono dovuti ai carichi fissi e ad un'aliquota dei carichi variabili (la frazione ψ_2).

1.2.1 Connessione di rigidezza nulla

Nel caso di rigidezza nulla si mantengono piane le sezioni delle singole travi e lo stato deformativo e tensionale è illustrato nella figura 2.3.2.

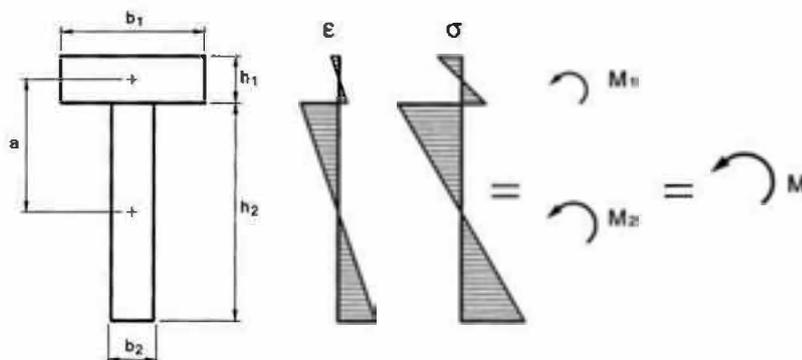


Fig. 2.3.2 – Deformazioni e tensioni da flessione in una trave composta con rigidezza nulla (da Piazza et al., 2005)

Le due travi presentano la stessa curvatura in sezioni inizialmente di medesima ascissa x, misurata a partire da una estremità della trave (Figura 2.3.3).

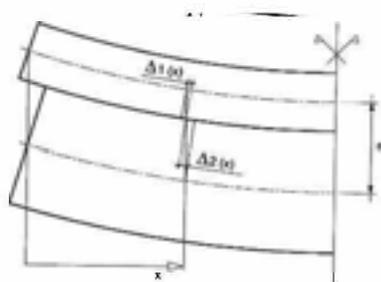


Fig. 2.3.3 – Scorrimento all'interfaccia (da Piazza et al., 2005)

Il sistema può essere visto come formato da due travi lavoranti in parallelo e la rigidezza flessionale della trave composta è la somma delle singole rigidità:

$$EJ_0 = \sum E_i J_i = \frac{1}{12} (E_1 b_1 h_1^3 + E_2 b_2 h_2^3)$$

Per le ipotesi di congruenza e di conservazione delle sezioni piane per i singoli elementi, si può scrivere:

$$w_1'' = w_2'' = w'' = -\frac{M_1}{E_1 J_1} = -\frac{M_2}{E_2 J_2} = -\frac{M}{EJ_0}$$

da cui si ricavano i momenti relativi ai due elementi, M_1 e M_2 , in funzione del momento sollecitante esterno M , e le tensioni massime:

$$M_1(x) = \frac{E_1 J_1}{EJ_0} M(x) \quad \rightarrow \quad \sigma_{1\max} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{E_1}{EJ_0} \frac{h_1}{2} M(x)$$

$$M_2(x) = \frac{E_2 J_2}{EJ_0} M(x) \quad \rightarrow \quad \sigma_{2\max} = \frac{M_2}{W_2} = \frac{E_2}{EJ_0} \frac{h_2}{2} M(x)$$

Ovviamente, il momento sollecitante si ripartisce tra le due travi proporzionalmente alle rispettive rigidità. Nel caso di rigidità nulla lo scorrimento all'interfaccia risulta, per una trave semplicemente appoggiata:

$$\delta(x) = \Delta_2(x) + \Delta_1(x) = \int_x^{L/2} \frac{h_2/2}{EJ_0} M(x) dx + \int_x^{L/2} \frac{h_1/2}{EJ_0} M(x) dx = \frac{a}{EJ_0} \int_x^{L/2} M(x) dx$$

dove a è la distanza tra i baricentri degli elementi che compongono la sezione. Nel caso di trave con carico uniformemente distribuito sull'intera luce, la formula precedente fornisce per l'ascissa generica x :

$$\delta(x) = \frac{q \cdot a}{EJ_0} (L^3 - 6Lx^2 + 4x^3)$$

Lo scorrimento massimo in corrispondenza degli appoggi ($x = L/2$) vale:

$$\delta_{\max} = \frac{q \cdot a \cdot L^3}{24 \cdot EJ_0}$$

1.2.2 Connessione di rigidità infinita

Nel caso di connessione a rigidità infinita la generica sezione globale della trave composta si conserva piana e non si verificano scorrimenti all'interfaccia legno-calcestruzzo. Il momento sollecitante $M(x)$ risulta essere equilibrato oltre che dai momenti M_1 e M_2 , anche dalla coppia offerta dalle azioni assiali N_1 e N_2 (Figura 2.3.4).

La distanza del baricentro della sezione composta dal lembo inferiore vale:

$$y_{g\infty} = \frac{E_1 A_1 (h_2 + h_1/2) + E_2 A_2 (h_2/2)}{\sum E_i A_i} = \frac{h_2}{2} + \frac{E_1 A_1}{\sum E_i A_i} a$$

Posto:

$$EA_0 = \frac{E_1 A_1 \cdot E_2 A_2}{\sum E_i A_i} = \left(\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} \right)^{-1}$$

le distanze dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione sono:

$$a_1 = h_2 + \frac{h_1}{2} - y_{g\infty} = \frac{E_2 A_2}{\sum E_i A_i} a = \frac{EA_0}{E_1 A_1} a \quad a_2 = y_{g\infty} - \frac{h_2}{2} = \frac{E_1 A_1}{\sum E_i A_i} a = \frac{EA_0}{E_2 A_2} a$$

Essendo EJ_0 la rigidità flessionale del sistema con connessione nulla, la rigidità flessionale della sezione composta vale:

$$EJ_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = EJ_0 + EA_0 a^2$$

Le tensioni massime possono essere espresse come:

$$\sigma_{i\max} = \frac{M(x)}{EJ_\infty} E_i z_i = \frac{M(x)}{EJ_\infty} E_i \left(a_i + \frac{h_i}{2} \right)$$

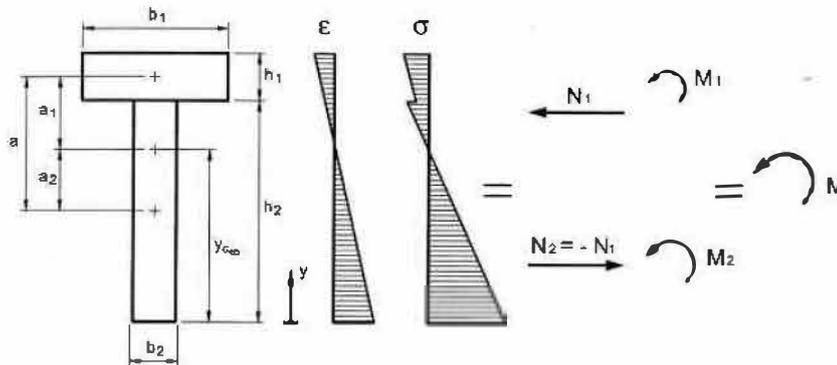


Figura 2.3.4 – Deformazioni e tensioni da flessione in una trave composta con connessione di rigidità infinita (da Piazza et al., 2005)

Ricordando le ipotesi di congruenza ($w_1 = w_2 = w$ e, quindi, $w_1'' = w_2'' = w''$) i momenti flettenti nei due elementi componenti valgono:

$$M_1(x) = \frac{E_1 J_1}{E J_\infty} M(x) \qquad M_2(x) = \frac{E_2 J_2}{E J_\infty} M(x)$$

Attraverso la relazione di equilibrio

$$M(x) = M_1(x) + M_2(x) + N(x) \cdot a$$

si ottiene la seguente espressione per l'azione assiale sollecitante $N_1 = -N_2$, a meno del segno:

$$N(x) = N_\infty(x) = \frac{EA_0 a}{E J_\infty} M(x)$$

da cui

$$\sigma_{i\max} = \frac{M_i}{W_i} + \frac{N}{A_i} = \frac{M(x)}{E J_\infty} \left(E_i \frac{h_i}{2} + E_i a_i \right)$$

La sollecitazione di scorrimento all'interfaccia legno-calcestruzzo è pari alla variazione dell'azione assiale:

$$V_{S\infty}(x) = N'_\infty(x) = \frac{EA_0 a}{E J_\infty} V(x)$$

$$V_{S\infty}(x) = \tau_{interfaccia} \cdot b = \frac{V(x)}{E J_\infty} S_1 = \frac{V(x)}{E J_\infty} E_1 A_1 a_1 = \frac{V(x)}{E J_\infty} EA_0 a$$

Allo stesso risultato si giunge attraverso l'uso della formula di Jourawsky.

È facile verificare che per una trave semplicemente appoggiata, con sezione trasversale costituita da due travi uguali in legno accoppiate, soggetta ad un carico uniformemente distribuito sull'intera luce, nell'ipotesi di connessione di rigidità infinita la deformata è pari a 1/4 di quella che si ottiene in assenza di connessione, mentre la tensione massima è la metà.

1.2.3 Connessione deformabile (di rigidità finita)

Nelle situazioni intermedie ai due casi limite, con collegamento semirigido, a causa dello scorrimento relativo tra trave e soletta, il comportamento statico reale può essere ricondotto allo schema di due travi in parallelo, collegate mediante una connessione deformabile. La trattazione generale elastica di questo problema è stata fornita da Newmark (1951) e si basa sulle seguenti ipotesi:

- comportamento elastico lineare dei materiali e della connessione;
- piccoli spostamenti e deformazioni (teoria del primo ordine);
- curvature uguali per gli elementi trave e soletta, (si trascurano fenomeni di separazione o di compenetrazione degli elementi): $w_1'' = w_2'' = w''$;
- conservazione delle sezioni piane per ciascun elemento costituente la sezione;
- connessione uniformemente distribuita lungo la trave con rigidità specifica costante, data dal rapporto $k = K/s$ tra la rigidità del singolo connettore K e l'interasse s ; nel caso di passo dei connettori tra un valore massimo s_{max} (in mezzzeria) e un valore minimo s_{min} (agli appoggi) si può fare riferimento a un interasse equivalente $s_{eq} = 0.75 s_{min} + 0.25 s_{max}$, purché sia $s_{max} \leq 4s_{min}$.
- travi con sezione costante lungo l'asse longitudinale.

Secondo la trattazione generale per una sezione mista, imponendo le equazioni di equilibrio per il tratto dx di trave composta, dell'elemento 1 e dell'elemento 2 (figura 2.3.5), le condizioni di congruenza e le relazioni di elasticità nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane, è possibile ottenere l'equazione differenziale risolvente del secondo ordine nella forma:

$$N_1'' - \alpha^2 N_1 = \beta M$$

Imposte le condizioni al contorno e determinata l'espressione di N_1 , è possibile ricavare le altre grandezze e, di conseguenza, lo stato tensionale della sezione composta.

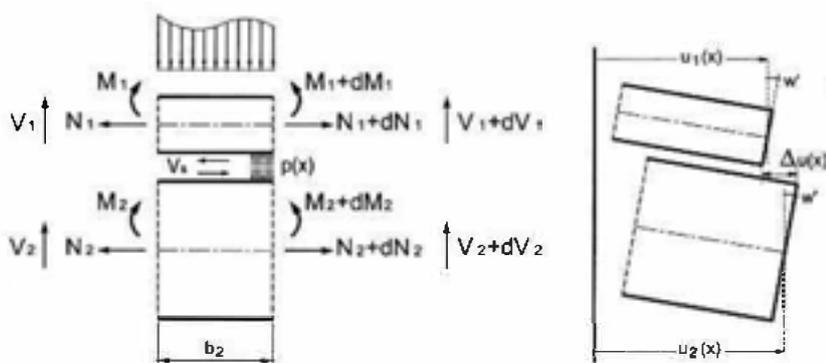


Figura 2.3.5 – Trave composta con connessione deformabile (da Piazza et al., 2005)

Le equazioni di equilibrio si scrivono:
per le azioni interne:

$$N_1 + N_2 = 0 \qquad V_1 + V_2 = V(x) \qquad M_1 + M_2 = N_1 \cdot a = M(x)$$

per l'elemento infinitesimo:

$$V'(x) = -q(x) \qquad M'(x) = V(x) \qquad M''(x) = -q(x)$$

per l'elemento 1 ($p(x)$ indica il carico verticale che si scambiano gli elementi):

$$N'_1(x) = -V_s(x) \qquad V'_1(x) = -(q(x) - p(x)) \qquad M'_1(x) = V_1(x) - V_s(x) \cdot h_1/2$$

per l'elemento 2:

$$N'_2(x) = V_s(x) \qquad V'_2(x) = -p(x) \qquad M'_2(x) = V_2(x) - V_s(x) \cdot h_2/2$$

La congruenza degli spostamenti verticali consente di scrivere:

$$w_1'' = w_2'' = w''$$

e lo scorrimento all'interfaccia può essere espresso come:

$$\Delta u(x) = u_2(x) - u_1(x) + w'(x) \frac{h_1}{2} + w'(x) \frac{h_2}{2} = u_2(x) - u_1(x) + w'(x)a$$

Infine, valgono le ben note relazioni di elasticità:

$$w''_1(x) = -\frac{M_1(x)}{E_1 J_1} \qquad w''_2(x) = -\frac{M_2(x)}{E_2 J_2}$$

e per la linearità del comportamento della connessione:

$$V_s(x) = k \cdot \Delta u(x)$$

1.2.3.1 Soluzione esatta

Per la congruenza degli spostamenti, i legami elastici e per l'equilibrio alla rotazione, si può scrivere:

$$M_1(x) = \frac{E_1 J_1}{E J_0} (M(x) + N_1(x)a) \qquad M_2(x) = \frac{E_2 J_2}{E J_0} (M(x) + N_1(x)a)$$

Derivando l'equazione di equilibrio, si può scrivere:

$$N_1''(x) = -V_s'(x) = -k \cdot \Delta u'(x) = -k (u_2'(x) - u_1'(x) + w''(x)a)$$

Ricordando che :

$$u_2'(x) = \varepsilon_2(x) = \frac{N_2(x)}{E_2 A_2} = -\frac{N_1(x)}{E_2 A_2} \qquad u_1'(x) = \varepsilon_1(x) = \frac{N_1(x)}{E_1 A_1}$$

$$w''(x) = -\frac{M_1(x)}{E_1 J_1} = -\frac{M(x) + N_1(x)a}{E J_0}$$

si può scrivere :

$$N_1^*(x) = -k \left[-\frac{N_1(x)}{E_2 A_2} - \frac{N_1(x)}{E_1 A_1} - \frac{M(x) + N_1(x)a}{EJ_0} a \right]$$

per cui

$$N_1^*(x) - k \cdot N_1(x) \left[\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} + \frac{a^2}{EJ_0} \right] = \frac{ka}{EJ_0} M(x)$$

da cui

$$N_1''(x) - \frac{k}{EA_0} \frac{EJ_\infty}{EJ_0} N_1(x) = \frac{ka}{EJ_0} M(x)$$

Ponendo

$$\alpha^2 = \frac{k}{EA_0} \frac{EJ_\infty}{EJ_0} \qquad \beta = \frac{ka}{EJ_0}$$

si scrive la seguente equazione differenziale del secondo ordine a coefficienti costanti :

$$N_1''(x) - \alpha^2 N_1(x) = \beta M(x)$$

La soluzione generale dell'omogenea associata è :

$$A_n \sinh(\alpha x) + B_n \cosh(\alpha x)$$

La soluzione particolare per carichi $q(x)$ al più lineari è:

$$-\frac{\beta}{a^2} \left(M(x) - \frac{q(x)}{\alpha^2} \right) \rightarrow N_1(x) = A_n \sinh(\alpha x) + B_n \cosh(\alpha x) - \frac{\beta}{a^2} M(x) + \frac{\beta}{\alpha^4} q(x)$$

Le costanti A_n e B_n si determinano in base alle condizioni al contorno. Ad esempio per travi in semplice appoggio $N_1(0) = N_1(L) = 0$.

Nota $N(x)$ è possibile ricavare le altre grandezze ad esclusione della deformata, per la quale sarebbe necessaria una doppia integrazione e, pertanto, conviene procedere nel seguente modo:

$$w''(x) = w_1''(x) = -\frac{M_1(x)}{E_1 J_1} = -\frac{M(x) + N_1(x)a}{EJ_0}$$

Derivando due volte e ricordando che :

$$N_1''(x) = \beta M(x) + \alpha^2 N_1(x) = \beta M(x) + \alpha^2 \left(-\frac{EJ_0}{a} w''(x) - \frac{M(x)}{a} \right)$$

si ottiene l'equazione differenziale del quarto ordine a coefficienti costanti :

$$w^{IV}(x) - \alpha^2 w''(x) = \alpha^2 \frac{M(x)}{EJ_\infty} + \frac{q(x)}{EJ_0}$$

La soluzione generale dell'omogenea associata è :

$$A_w \sinh(\alpha x) + B_w \cosh(\alpha x) + C_w + D_w$$

La soluzione particolare per carichi $q(x)$ al più lineari è:

$$-\frac{1}{EJ_\infty} \iint M(x) dx + \frac{\beta a}{\alpha^4} \frac{M(x)}{EJ_0} \rightarrow$$

$$\rightarrow w(x) = A_w \sinh(\alpha x) + B_w \cosh(\alpha x) + C_w + D_w - \frac{1}{EJ_\infty} \iint M(x) dx + \frac{\beta a}{\alpha^4} \frac{M(x)}{EJ_0}$$

Le costanti A_w , B_w , C_w e D_w si determinano in base alle condizioni al contorno. Nota $w(x)$ è possibile ricavare le altre grandezze in base alle seguenti relazioni:

$$N_1(x) = E_1 A_1 u_1'(x) = -\frac{1}{a} (EJ_0 w''(x) + M(x)) \quad N_2(x) = -N_1(x) = \frac{1}{a} (EJ_0 w''(x) + M(x))$$

$$M_i(x) = -E_r J_i w''(x)$$

$$V_i(x) = M_i'(x) + N_1'(x) \frac{h_i}{2} = -E_r J_i w'''(x) + \frac{h_i}{2a} (EJ_0 w''(x) + V(x))$$

$$V_s(x) = -N_1'(x) = \frac{1}{a} (EJ_0 w''(x) + V(x))$$

$$\delta(x) = \Delta u(x) = \frac{V_s(x)}{k} = \frac{1}{ka} (EJ_0 w''(x) + V(x))$$

Con riferimento ad una trave semplicemente appoggiata, si ottiene:

$$V(x) = \frac{q}{2}(l-2x) \quad M(x) = \frac{q}{2}(lx-x^2) \quad \iint M(x) dx = \frac{q}{24}(2lx^3-x^4)$$

con le condizioni al contorno:

$$w(0) = w(l) = w''(0) = w''(l) = 0$$

posto:

$$g(x) = 1 - \cosh(\alpha x) + \sinh(\alpha x) \cdot \tanh\left(\frac{\alpha l}{2}\right)$$

si ha:

$$w(x) = \frac{q}{24EJ_\infty} (l^3 x - 2lx^3 + x^4) + q \left(\frac{1}{EJ_0} - \frac{1}{EJ_\infty} \right) \cdot \left[\frac{(lx-x^2)}{2\alpha^2} - \frac{g(x)}{\alpha^4} \right]$$

Il primo termine è $w_\infty(x)$, ovvero la deformata per connessione infinitamente rigida, il secondo termine è il contributo alla deformata dovuto alla cedevolezza delle connessioni. Si può anche scrivere:

$$w(x) = w_\infty(x) + (w_0(x) - w_\infty(x)) \cdot \frac{(12\alpha^2 (lx-x^2) - 24g(x))}{\alpha^4 (l^3 x - 2lx^3 + x^4)}$$

Lo sforzo normale vale:

$$N_1(x) = -N_2(x) = -\frac{EA_0 a}{EJ_\infty} M(x) + \frac{EA_0 a}{EJ_\infty} \frac{q}{\alpha^2} g(x)$$

Anche in questo caso il primo termine è l'azione assiale per connessione infinitamente rigida, mentre il secondo termine è la riduzione di N dovuta alla cedevolezza delle unioni. Quindi:

$$N_1(x) = N_{1\infty}(x) \cdot \left[1 - \frac{2g(x)}{\alpha^2 (lx - x^2)} \right]$$

Si noti che l'espressione in parentesi tende a zero se $k \rightarrow 0$, mentre tende ad uno se $k \rightarrow \infty$.

$$M_1(x) = \frac{E_r J_l}{EJ_\infty} M(x) + \left(\frac{E_r J_l}{EJ_0} - \frac{E_r J_l}{EJ_\infty} \right) \frac{q}{\alpha^2} g(x)$$

Come nei casi precedenti si può scrivere :

$$M_1(x) = M_{1\infty}(x) + (M_{10}(x) - M_{1\infty}(x)) \frac{2g(x)}{\alpha^2 (lx - x^2)}$$

$$V_1(x) = \left(\frac{E_r J_l}{EJ_\infty} + \frac{EA_0 a h_l}{EJ_\infty 2} \right) V(x) + \left(\frac{E_r J_l}{EJ_0} - \left(\frac{E_r J_l}{EJ_\infty} + \frac{EA_0 a h_l}{EJ_\infty 2} \right) \right) \frac{q}{\alpha} f(x)$$

$$f(x) = \cosh(\alpha x) \cdot \tanh\left(\frac{\alpha l}{2}\right) - \sinh(\alpha x); \quad f'(x) = \frac{g'(x)}{\alpha}$$

Anche in questo caso si può scrivere :

$$V_1(x) = V_{1\infty}(x) + (V_{10}(x) - V_{1\infty}(x)) \frac{2f(x)}{\alpha(l - 2x)}$$

$$V_S(x) = \frac{EA_0 a}{EJ_\infty} V(x) - \frac{EA_0 a}{EJ_\infty} \frac{q}{\alpha} f(x)$$

che può essere scritta come:

$$V_S(x) = V_{S\infty}(x) \left(1 - \frac{2f(x)}{\alpha(l - 2x)} \right)$$

$$\Delta u(x) = \delta(x) = \frac{V_S(x)}{k} = \frac{EA_0 a}{kEJ_\infty} V(x) - \frac{EA_0 a}{kEJ_\infty} \frac{q}{\alpha} f(x)$$

Considerando che lo scorrimento per connessione con rigidità nulla è :

$$\delta_0(x) = \frac{qa}{24EJ_0} (l^3 - 6lx^2 + 4x^3)$$

si può scrivere :

$$\delta(x) = \delta_0(x) \cdot 12 \frac{\alpha(l-2x) - 2f(x)}{\alpha^3(l^3 - 6lx^2 + 4x^3)}$$

Si noti che le due funzioni $g(x)$ e $f(x)$, pur avendo espressioni complicate, nei casi limite sono sempre nulle se la connessione ha rigidezza nulla e hanno valore 1 se la rigidezza è infinita.

1.2.3.2 Soluzione DIN e EC 5

Tenendo conto delle equazioni di congruenza e di legame elastico:

$$N_1 = E_1 A_1 \varepsilon_1 = E_1 A_1 u_1''$$

le equazioni di equilibrio alla traslazione degli elementi 1 e 2 si scrivono, rispettivamente:

$$E_1 A_1 \cdot u_1''(x) + k(u_2(x) - u_1(x) + w'(x) \cdot a) = 0$$

$$E_2 A_2 u_2''(x) - k(u_2(x) - u_1(x) + w'(x) \cdot a) = 0$$

mentre l'equilibrio alla rotazione fornisce:

$$M_1'(x) + M_2'(x) = -\sum E_i J_i w''(x) = V(x) - V_s(x) \cdot a$$

differenziando si ottiene:

$$EJ_0 \cdot w^{IV}(x) - ka(u_2'(x) - u_1'(x) + w''(x)a) = q(x)$$

che costituiscono un sistema di 3 equazioni differenziali nelle incognite $u_1(x)$, $u_2(x)$ e $w(x)$.

Approssimando il carico ad una funzione sinusoidale

$$q = q_0 \sin(\pi x/L)$$

è possibile assumere per le incognite funzioni della seguente forma:

$$u_1(x) = u_{10} \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \rightarrow u_1'(0) = u_1'(l) = 0 \rightarrow N_1(0) = N_1(l)$$

$$u_2(x) = u_{20} \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \rightarrow u_2'(0) = u_2'(l) = 0 \rightarrow N_2(0) = N_2(l)$$

$$w(x) = w_0 \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \Rightarrow [w(0) = w(l) = 0]$$

e il sistema precedente si riduce a un sistema di 3 equazioni algebriche nelle incognite u_{10} , u_{20} e w_0 :

$$\begin{cases} -\frac{\pi^2}{l^2} E_1 A_1 \cdot u_{10} + k \left(u_{20} - u_{10} + \frac{\pi}{l} a \cdot w_0 \right) = 0 \\ -\frac{\pi^2}{l^2} E_2 A_2 \cdot u_{20} - k \left(u_{20} - u_{10} + \frac{\pi}{l} a \cdot w_0 \right) = 0 \\ \frac{\pi^4}{l^4} EJ_0 w_0 + \frac{\pi}{l} a \cdot k \left(u_{20} - u_{10} + \frac{\pi}{l} a \cdot w_0 \right) = q_0 \end{cases}$$

Ponendo :

$$k_1 = \frac{\pi^2 E_1 A_1}{kl^2} \qquad \gamma_1 = \frac{1}{1+k_1}$$

$$EJ_{ef} = EJ_0 + EA_0^* a^2 \qquad EA_0^* = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 \cdot E_2 A_2}{\gamma_1 E_1 A_1 + E_2 A_2} = \left(\frac{1}{\gamma_1 E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} \right)^{-1}$$

la soluzione del sistema è:

$$w(x) = \frac{q_0 l^4}{\pi^4 EJ_{ef}} \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

$$u_1(x) = \frac{q_0 l^3}{\pi^3 EJ_{ef}} \frac{EA_0^* \cdot a}{E_1 A_1} \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

$$u_2(x) = -\frac{q_0 l^3}{\pi^3 EJ_{ef}} \frac{EA_0^* \cdot a}{E_2 A_2} \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

Il fattore adimensionale γ_1 riveste il ruolo di “peso” per l’area del solo elemento 1. Lo sforzo normale vale:

$$N_1(x) = E_1 A_1 \varepsilon_1(x) = E_1 A_1 u_1'(x) = -\frac{EA_0^* a q_0 l^2}{EJ_{ef} \pi^2} \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

Confrontando $\frac{q_0 l^2}{\pi^2} \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right)$ con $M(x)$ si ottiene:

$$N_1(x) = -\frac{EA_0^* a}{EJ_{ef}} M(x)$$

$$M_i(x) = -E_i J_i w''(x) = \frac{E_i J_i}{EJ_{ef}} \frac{q_0 l^2}{\pi^2} \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

Da cui

$$M_i(x) = \frac{E_i J_i}{EJ_{ef}} M(x)$$

$$V_i(x) = M_i'(x) + V_s(x) \frac{hi}{2} = M_i'(x) + N_i'(x) \frac{hi}{2} = \left(\frac{E_i J_i}{EJ_{ef}} + \frac{EA_0^* a h_i}{EJ_{ef} 2} \right) q_0 \frac{l}{\pi} \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

Confondendo $q_0 l / \pi \cdot \cos(\pi x / l)$ con $V(x)$ si ottiene:

$$V_i(x) = \frac{E_i J_i + EA_0^* a \frac{h_i}{2}}{EJ_{ef}} V(x)$$

$$V_S(x) = -N_1'(x) = \frac{EA_0^* a q_0 l}{EJ_{ef} \pi} \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

Da cui :

$$V_S(x) = \frac{EA_0^* a}{EJ_{ef}} V(x)$$

espressione lineare in x che per $\alpha \neq \infty$ sovrastima V_S all'appoggio.

In alternativa, partendo dall'espressione

$$V_S(x) = k[u_2(x) - u_1(x) + w'(x) \cdot a]$$

si ottiene

$$V_S(x) = \frac{k \cdot a}{EJ_{ef}} \left(1 - \frac{EA_0^*}{EA_0}\right) \frac{q_0 l^3}{\pi^3} \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

da cui confondendo $q_0 l^3 / \pi^3 \cdot \cos(\pi x/l)$ con $-\int M(x)dx$ ed imponendo $V_S(l/2) = 0$ si ha :

$$V_S(x) = \frac{k \cdot a}{EJ_{ef}} \left(1 - \frac{EA_0^*}{EA_0}\right) \frac{q_0}{24} (l^3 - 6l \cdot x^2 + 4x^3) = \frac{k \cdot EJ_0}{EJ_{ef}} \left(1 - \frac{EA_0^*}{EA_0}\right) \delta_0(x)$$

che rappresenta una soluzione più aderente alla soluzione esatta per $\alpha \neq \infty$.

Lo scorrimento si scrive:

$$\Delta u(x) = s(x) = u_2(x) - u_1(x) + w'(x)a = \frac{EJ_0}{EJ_{ef}} \left(1 - \frac{EA_0^*}{EA_0}\right) \frac{q \cdot a}{24EJ_0} (l^3 - 6lx^2 + 4x^3) = \frac{EJ_0}{EJ_{ef}} \left(1 - \frac{EA_0^*}{EA_0}\right) \delta_0(x)$$

e lo spostamento vale:

$$w(x) = \frac{q_0 l^4}{\pi^4 EJ_{ef}} \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) = \frac{q}{24EJ_{ef}} (l^3 x - 2lx^3 + x^4)$$

dove l'espressione di $w(x)$ in $\sin(\pi x/l)$ è stata sostituita dalla doppia integrazione di $M(x)$ con le condizioni al contorno $w(0) = w(L) = 0$.

Nell'elemento superiore, la tensione baricentrica vale:

$$\sigma_{s1} = \frac{N_1(x)}{A_1} = -\frac{M(x) EA_0^* \cdot a}{EJ_{ef} A_1} = -\frac{M(x)}{EJ_{ef}} \gamma_1 E_1 a_1^*$$

(si ricorda che $\gamma_1 E_1 A_1 a_1^* = E_2 A_2 a_2^* = EA_0^* \cdot a$), mentre la tensione di compressione massima è:

$$\sigma_{R1} = \frac{N_1(x)}{A_1} - \frac{M_1(x) h_1}{J_1} = \sigma_{s1} - \frac{M(x)}{EJ_{ef}} E_1 \frac{h_1}{2} = -\frac{M(x)}{EJ_{ef}} E_1 \left(\gamma_1 a_1^* + \frac{h_1}{2}\right)$$

Nell'elemento inferiore, la tensione baricentrica vale:

$$\sigma_{s2} = \frac{N_2(x)}{A_2} = \frac{M(x)}{EJ_{ef}} E_2 a_2^*$$

mentre la tensione massima è:

$$\sigma_{R2} = \frac{N_2(x)}{A_2} + \frac{M_2(x) h_2}{J_2} = \frac{M(x)}{EJ_{ef}} E_2 \left(a_2^* + \frac{h_2}{2} \right)$$

Le tensioni tangenziali sono fornite dalla formula di Jourawsky; nell'elemento superiore si ha:

$$\tau_1(z) \cdot b_1 = \int_z^{\frac{h_1}{2}} b_1 \Delta \sigma_1(y) dy$$

con

$$\Delta \sigma_1(y) = \frac{V(x)}{EJ_{ef}} E_1 (\gamma_1 a_1^* + y)$$

Sostituendo:

$$\tau_1(z) b_1 = \frac{V(x)}{EJ_{ef}} E_1 b_1 \int_z^{\frac{h_1}{2}} (\gamma_1 a_1^* + y) dy = \frac{V(x)}{EJ_{ef}} E_1 b_1 \left(\frac{h_1}{2} - z \right) \left(\gamma_1 a_1^* + \frac{h_1/2 + z}{2} \right) = \frac{V(x)}{EJ_{ef}} E_1 S_1^*(z)$$

dove

$$S_1^*(z) = b_1 \left(\frac{h_1}{2} - z \right) \left(\gamma_1 a_1^* + \frac{h_1/2 + z}{2} \right)$$

è il momento statico dell'area tratteggiata rispetto all'asse baricentrico dell'elemento 1 (Figura 2.3.6).

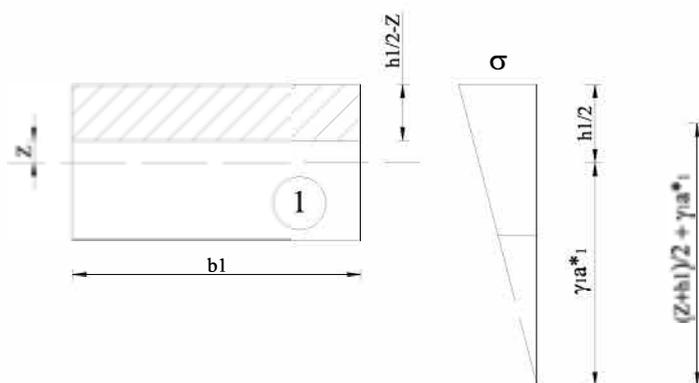


Figura 2.3.6– Calcolo del momento statico

Possono verificarsi due casi:

- se $\gamma_1 a_1^* > h_1/2$, la tensione tangenziale nell'elemento 1 aumenta fino all'interfaccia, dove assume il valore massimo

$$\tau_{1\max} = \frac{V(x)}{b_1 E J_{ef}} E_1 S_1^* \left(-\frac{h_1}{2} \right) = \frac{V_S(x)}{b_1}$$

- se $\gamma_1 a_1^* < h_1/2$, la tensione tangenziale è massima sull'asse neutro dell'elemento 1

$$\gamma_1 a_1^* < \frac{h_1}{2} \Rightarrow \tau_{1\max} = \frac{V(x)}{b_1 E J_{ef}} E_1 S_1^* (-\gamma_1 a_1^*)$$

Analogamente, nell'elemento inferiore:

$$\tau_{2\max} = \frac{V(x)}{b_2 E J_{ef}} E_2 b_2 \left(\frac{h_2}{2} + a_2^* \right) \frac{1}{2} \left(\frac{h_2}{2} + a_2^* \right) = \frac{V(x)}{b_2 E J_{ef}} E_2 \frac{b_2}{2} \left(\frac{h_2}{2} + a_2^* \right)^2 = \frac{V(x)}{b_2 E J_{ef}} E_2 S_2^* (-a_2^*).$$

1.2.3.3 Formule di verifica secondo DIN e EC5

Gli attuali documenti normativi (DIN 1052/2004, EN 1995/2004) propongono, per la verifica di travi composte a connessione deformabile, alcune formule derivanti da una trattazione semplificata del problema, nel caso di trave in semplice appoggio e carico distribuito variabile con legge sinusoidale $q = q_0 \sin(\pi x/L)$. La sezione composta (elemento 1 = soletta in c.a., elemento 2 = trave in legno) presenta il piano di simmetria verticale e si conserva costante lungo l'asse rettilineo della trave. La scrittura delle equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale degli elementi 1 e 2, assieme alle equazioni del tratto dx degli stessi elementi, consente di giungere al sistema di 3 equazioni differenziali negli incognite u_1 , u_2 e w :

$$\begin{cases} E_1 A_1 \cdot u_1'' + k(u_2 - u_1 + w'a) = 0 \\ E_2 A_2 \cdot u_2'' - k(u_2 - u_1 + w'a) = 0 \\ \sum_i E_i J_i \cdot w_1^{IV} - ka(u_2' - u_1' + w''a) = q \end{cases}$$

L'assunzione del carico a distribuzione sinusoidale permette di esprimere le incognite spostamenti assiali u_1 , u_2 e verticale w nelle seguenti forme:

$$u_1 = u_{10} \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad u_2 = u_{20} \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad w = w_0 \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

Sotto queste ipotesi il sistema risolvibile si riduce ad un sistema di equazioni algebriche nelle incognite u_{10} , u_{20} e w_0 .

Il metodo proposto si basa sulle seguenti ipotesi:

- le travi sono ad una campata, semplicemente appoggiate, con luce L ; per travi continue le formule possono essere usate considerando L pari a 0.8 volte la luce effettiva; per travi a mensola adottando L uguale al doppio dello sbalzo;
- le singole parti componenti la sezione sono in un solo pezzo o realizzate tramite giunti di continuità incollati;
- le singole parti componenti la sezione sono tra loro collegate attraverso mezzi di unione meccanici con modulo di scorrimento K e interasse s costante per tutta la lunghezza della trave o variabile in funzione dello sforzo di taglio fra s_{min} ed s_{max} , con $s_{max} \leq 4 s_{min}$;
- il carico agisce in direzione verticale determinando un momento $M(x)$, che varia con legge sinusoidale o parabolica, e uno sforzo di taglio $V(x)$.

AI fini delle verifiche la sezione composta si comporta come una sezione semplice avente rigidità flessionale equivalente data da (Eurocodice 5, Appendice B):

$$E J_{ef} = \sum E_i J_i + \gamma_2 \cdot E_2 A_2 a_2^2 + \gamma_1 \cdot E_1 A_1 a_1^2$$

dove :

$$\gamma_2 = 1$$

e

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 s_{eq}}{K \cdot L^2}} \quad \text{o} \quad \gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1}{k \cdot L^2}}$$

rispettivamente nel caso di connessione puntuale e connessione distribuita. Il fattore dimensionale γ_1 riveste, nel calcolo della rigidezza flessionale equivalente della sezione composta, il ruolo di “peso” per l’area dell’elemento 1. Avendo indicato la variabile a come la distanza tra i baricentri geometrici di sezione degli elementi 1 e 2, le espressioni delle distanze tra i baricentri geometrici di sezione degli elementi 1 e 2 e il baricentro globale della sezione mista sono date da :

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1}{\gamma_1 E_1 A_1 + E_2 A_2} \quad a_1 = a - a_2$$

Nel caso in cui sia la trave che la soletta abbiano forma rettangolare, con la presenza di un eventuale gap t dovuto alla distanza tra i due elementi, la variabile a assume la forma:

$$a = h_1/2 + h_2/2 + t$$

Nelle verifiche si assumerà come valore del modulo di scorrimento:

- $K = K_{ser}$ per le verifiche allo SLE;
- $K = K_u = 2/3 \cdot K_{ser}$ per le verifiche allo SLU.

Nota la rigidezza si determinano, le sollecitazioni normali e flessionali agenti su ciascun elemento:

$$N_{i,d} = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot a_i \cdot A_i}{EJ_d} \cdot M_d \quad M_{i,d} = \frac{EJ_i}{EJ_d} \cdot M_d$$

da cui si ricavano le tensioni ai lembi dell’ elemento i -esimo, come somma algebrica della tensione baricentrica σ_i e della componente flessionale $\sigma_{m,i}$ (Figura 2.3.7):

$$\sigma_i \pm \sigma_{m,i} = \frac{N_{i,d}}{A_i} \pm \frac{M_{i,d}}{W_i}$$

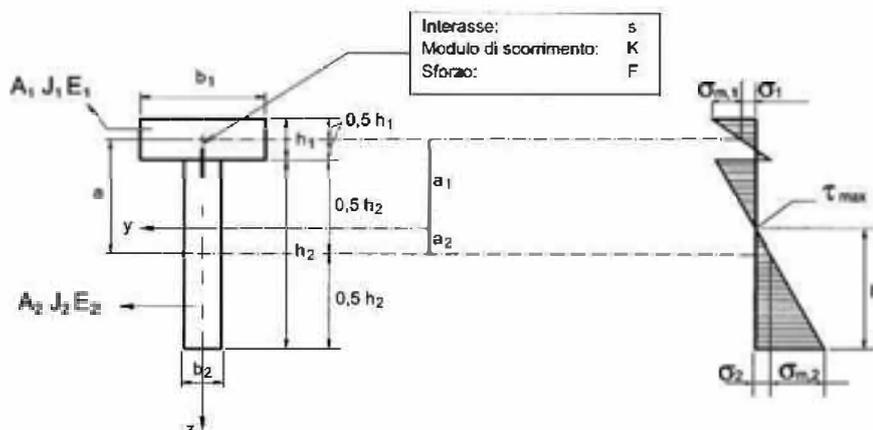


Figura 2.3.7 – Trave composta con connessione deformabile, distribuzione delle tensioni (da Piazza et al., 2005)

Il massimo sforzo di taglio agente nell'elemento d'anima (elemento 2) e la forza cui è sottoposta la connessione tra i due elementi, sono date rispettivamente da:

$$\tau_{2,\max} = \frac{0.5 \cdot E_2 \cdot h^2}{EJ_{ef}} \cdot V \quad F = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_{eq}}{EJ_{ef}} \cdot V$$

Nel caso di connessione distribuita lungo la trave, la sollecitazione per unità di lunghezza è:

$$f = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1}{EJ_{ef}} \cdot V$$

Una misura dell'efficienza della connessione è fornita dal parametro adimensionale:

$$\eta = \frac{EJ_{reale} - EJ_0}{EJ_{\infty} - EJ_0}$$

compreso tra 0 e 1. Con collegamenti molto rigidi EJ_{reale} risulta prossimo a EJ_{∞} ($\eta \rightarrow 1$); con collegamenti molto deformabili EJ_{reale} risulta prossimo a EJ_0 ($\eta \rightarrow 0$). Valori reali del parametro η per gli usuali solai composti lignei, con soletta in calcestruzzo oppure in legno, sono compresi tra 0.4 e 0.7.

Il massimo sforzo di taglio agente nell'elemento d'anima (elemento 2) e la forza cui è sottoposta la connessione tra i due elementi, sono date rispettivamente da:

$$\tau_{2,\max} = \frac{0.5 \cdot E_2 \cdot h^2}{EJ_{ef}} \cdot V \quad F = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_{eq}}{EJ_{ef}} \cdot V$$

Nel caso di connessione distribuita lungo la trave, la sollecitazione per unità di lunghezza è:

$$f = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1}{EJ_{ef}} \cdot V$$

Una misura dell'efficienza della connessione è fornita dal parametro adimensionale:

$$\eta = \frac{EJ_{reale} - EJ_0}{EJ_{\infty} - EJ_0}$$

compreso tra 0 e 1. Con collegamenti molto rigidi EJ_{reale} risulta prossimo a EJ_{∞} ($\eta \rightarrow 1$); con collegamenti molto deformabili EJ_{reale} risulta prossimo a EJ_0 ($\eta \rightarrow 0$). Valori reali del parametro η per gli usuali solai composti lignei, con soletta in calcestruzzo oppure in legno, sono compresi tra 0.4 e 0.7.

La versatilità nelle applicazioni permette di declinare il prodotto nelle varie situazioni abbinandolo opportunamente.



Versatilità nelle applicazioni

22



La versatilità nelle applicazioni è data dalla possibilità d'impiego in abbinamento a varie tipologie di strutture verticali quali, ad esempio:

- Murature portanti
- Telai in cls
- Telai in acciaio
- Telai in legno
- Blocchi cassero
- Altri sistemi a parete armata

23

Il Solaio Compound è una vera e propria evoluzione dei tradizionali solai composti ad elevata qualità architettonica.

Il sistema generale rimane infatti invariato (travetto + elemento interposto e getto superiore di completamento) mentre mantiene leggerezza, rigidità e capacità di trasmettere i carichi verticali e le azioni orizzontali direttamente alle strutture portanti.



24

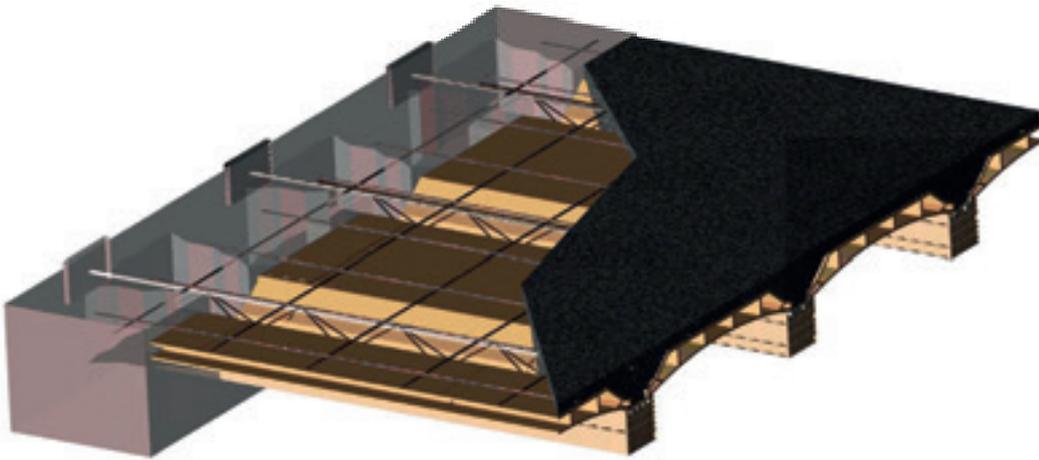
Il travetto tralicciato può lavorare quindi in abbinamento con diversi elementi d'interposizione quali la semplice perlina in legno, la tavella in cotto, la volterrana laterizia e i pannelli composti nelle varie tipologie.

In funzione poi dell'inserimento nelle verticalizzazioni, questo solaio può essere utilizzato in semplice o composta orditura.



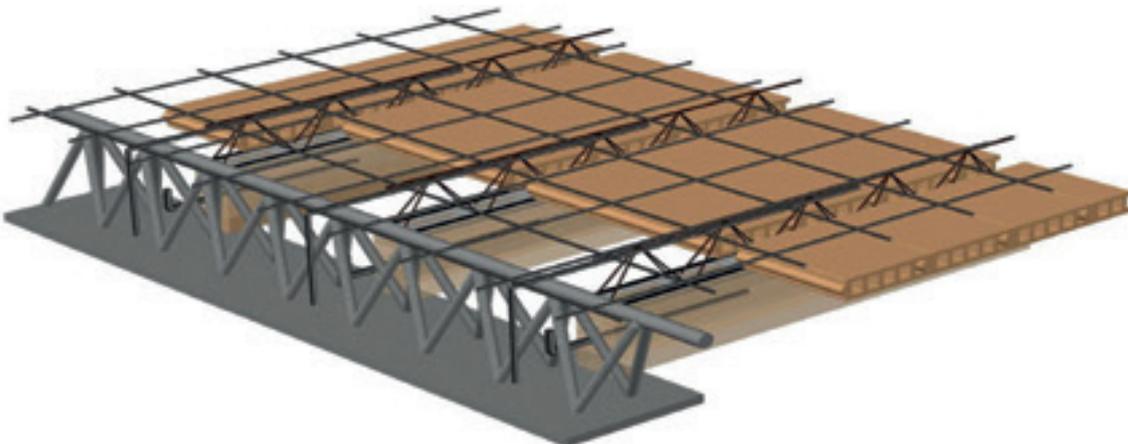
25

Risulta inoltre notevolmente interessante rispetto alle modalità d'inserimento sia nelle murature portanti che nei telai in cls in quanto è dotato di specifiche soluzioni tecniche atte a collegare coerentemente tramite bolzoni, microchiavi e monconature metalliche varie l'impalcato alle pareti al fine di realizzare il necessario diaframma rigido a completamento della scatolarità.



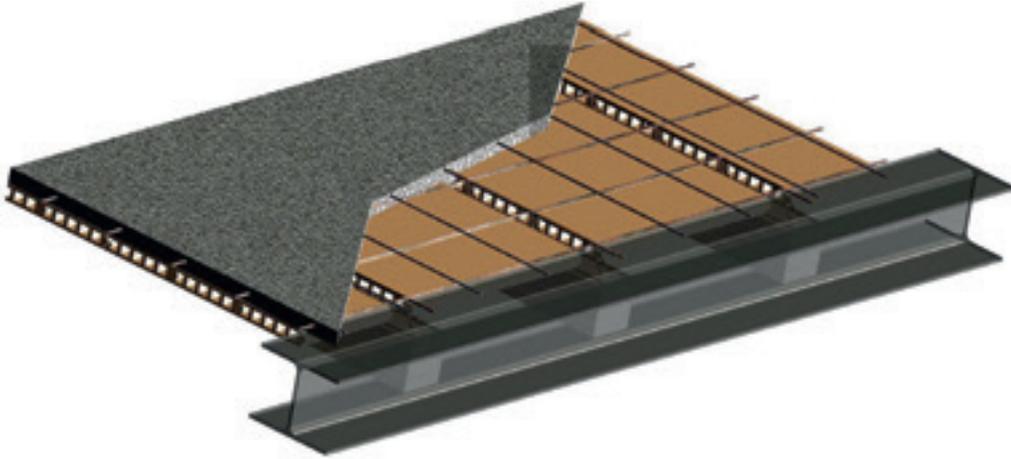
26

La flessibilità con cui può essere coniugato assieme ad elementi in acciaio particolarmente efficienti e validi quali le travi REP e reticolari in genere, lo rende utilizzabile in diverse condizioni e permette di risolvere svariate problematiche di cantiere in modo semplice e tecnico.



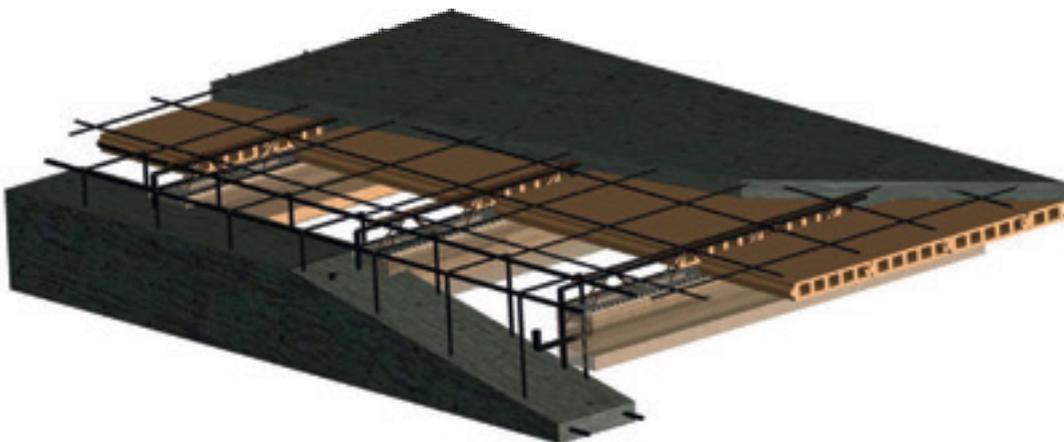
27

Ulteriori elementi di abbinamento quali orditure primarie sono rappresentati dalle cosiddette putrelle HEA / HEB in acciaio che spesso vengono utilizzate a motivo dell'immediatezza di posa che non richiede cassetta prima del getto e, quando richiesto, del valore estetico in riferimento a specifiche architetture.



28

Spesso nelle nuove costruzioni vi è poi la necessità di lavorare all'interno di telai in calcestruzzo che non consentono l'inserimento del travetto nella travatura per non interrompere l'armatura. In questi casi i bolzoni in acciaio inseriti nelle testate dei travetti tralicciati risolvono brillantemente questo accoppiamento.



29

Nelle dimore antiche risulta decisamente idoneo in quanto mantiene un corretto rapporto estetico-funzionale tra le parti non alterate e quelle ripristinate.
La possibilità di utilizzare elementi laterizi storici è in funzione appunto della tralicciatura estradossata al travetto ligneo.
Questa soluzione è stata più volte proposta ed accettata dalle Soprintendenze Belle Arti e Paesaggio di varie province italiane.



30

Questa tecnologia industrializzata permette di certificare il prodotto così come confezionato all'origine.



Tecnologia Industrializzata

31



Attraverso il confezionamento del solaio realizzato integralmente in stabilimento è possibile non solo controllare le varie fasi di accoppiamento ed assemblaggio del traliccio metallico nella trave lamellare ma anche apporre per punzonatura impressa direttamente all'estradosso dei travetti tutti gli elementi identificativi previsti dalle normative in vigore.



Viene infatti riportato:
il nominativo dell'azienda con il luogo di produzione ed il numero di attestato di qualifica ministeriale quale centro di lavorazione e taglio; la tipologia di prodotto con la relativa marcatura CE ed ETA; l'anno di produzione e lo specifico lotto.

Tutto ciò è propedeutico al fine del rilascio della "*Dichiarazione di Conformità Lotto di Produzione*" rispetto alla D.o.P. (dichiarazione di prestazione) emessa dalla Coperlegno.

Appendice Tecnologia Industrializzata

Appendice Tecnologia Industrializzata



Reg. UE 305/2011 del 09/04/2011
D.lgs. 106/2017 del 16/06/2017
D.M. Infrastrutture del 17/01/2018

A partire dal 9 Agosto 2017 sono cogenti le nuove regole sulla commercializzazione e l'utilizzo dei prodotti da costruzione così come riportato nel Decreto Legislativo 106/2017 del 16/06/2017 pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n° 159 del 10/07/2017 in adeguamento al regolamento UE n.305/2011.

Appendice Tecnologia Industrializzata



Le norme specifiche sono definite nel nuovo D.M. Infrastrutture 17/01/18. Di conseguenza non solo il costruttore, ma anche il progettista, il direttore dei lavori ed il collaudatore, nell'ambito delle specifiche competenze, devono prescrivere ed accertarsi che i prodotti ad uso strutturale utilizzati rientrino nell'ambito di applicazione di una norma armonizzata ovvero siano conformi ad una valutazione tecnica europea specifica.

T2

Appendice Tecnologia Industrializzata



Ciò risulta estremamente lineare e definito nel caso di utilizzo di prodotti strutturali semplici o composti tramite tecnologie industrializzate che siano certificati all'origine (esempio reti e tralicci elettrosaldati, solai prefabbricati etc).

Il compito quindi del progettista, del direttore dei lavori e del collaudatore in questa fattispecie, sarà limitato a verifica e controllo di rispondenza del prodotto alla documentazione accompagnatoria (DoP, etc).

T3

Ecosostenibilità, Circolarità e Salubrità rappresentano le tre performance di caratterizzazione.

Ciclo del Carbonio

Accumuli (Gton)
Flussi (Gton/anno)



Ecosostenibilità e Circolarità

35



La necessità di contenere il bilancio energetico complessivo del fabbricato unita ad una sempre più forte sensibilizzazione dei cittadini rispetto alle tematiche ambientali rappresentano punti di grande forza del Solaio Compound® che:

- Dimezza i pesi propri e quindi limita le dimensioni delle strutture verticali consentendo sensibili risparmi sia in termini di quantità impiegate che in termini di tempi di esecuzione.

36



- Utilizza legno certificato PEFC, in modo da promuovere una gestione forestale economicamente valida, ambientalmente appropriata e socialmente positiva.
- Immagazzina in 1 mc di legno utilizzato, grazie al processo della fotosintesi clorofilliana, circa 255 kg.

di carbonio corrispondenti a 0,93 T. di CO₂ equivalente. In sintesi 1 mq. di Solaio Compound® contribuisce per circa 3 Kg. di carbonio assorbiti, per cui il bilancio energetico complessivo del fabbricato si riduce sensibilmente attraverso l'uso di questa tecnologia.

Appendice **Ecosostenibilità**

Appendice Ecosostenibilità



I nuovi modelli abitativi pongono in primo piano il rispetto dell'ambiente, l'abbattimento dei consumi energetici ed in generale il principio di sostenibilità degli edifici. I nuovi canoni progettuali devono poi porsi come obiettivo il comfort e la salubrità all'interno delle unità abitative. L'attenzione quindi ai materiali da costruzione è centrale per ottenere risultati che devono essere comunque in equilibrio con le prestazioni tecniche.

E1

Appendice Ecosostenibilità

Si è tenuto conto in particolar modo delle caratteristiche climatiche mediterranee e dei modelli nZEB e Passivhaus. Se è pur vero che l'adozione di involucri ad altissima tenuta riducono la trasmissione di ogni tipo di flusso tra interno ed esterno è altrettanto vero che un iperisolamento, bloccando la traspirabilità dell'edificio, crea disagio e vanifica il benessere termico esponendo gli occupanti a svariate malattie a carico dell'apparato respiratorio e cardiovascolare comunemente rientranti nella cosiddetta 'Sindrome da edificio malato' (Sick Building Syndrome). Per questo motivo il Solaio Compound, quale orizzontamento utilizzabile sia in modalità di calpestio che di copertura, è concepito in modo tale da raggiungere un giusto mix con l'utilizzo di materiali ecosostenibili che permettono di isolare e fornire una propria inerzia termica a tutto vantaggio del comfort abitativo.

E2

La resistenza al sisma si ottiene utilizzando un comportamento strutturale di tipo dissipativo.



Resistenza al Sisma

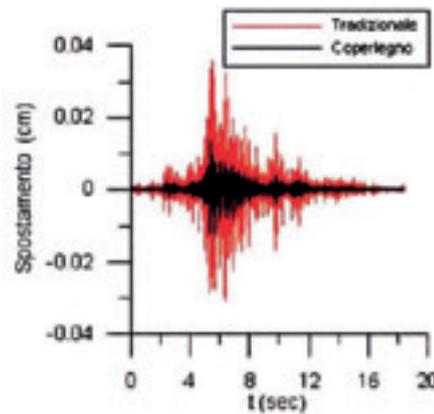
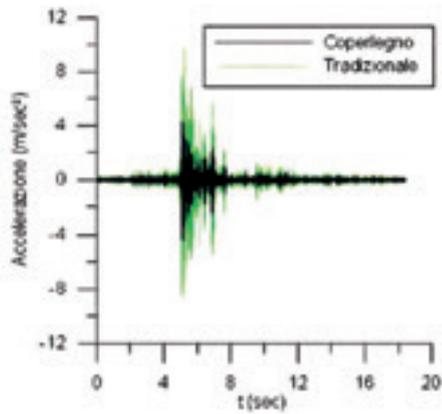
39



Il Solaio Compound è stato sottoposto a test dinamici nell'ambito di verifica degli interventi di rinforzo strutturale / miglioramento / adeguamento sismico delle strutture.

40

Le analisi dinamiche sono state effettuate presso il Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA su tavola vibrante e ne hanno evidenziato il carattere dissipativo e quindi una notevole riduzione delle accelerazioni e degli spostamenti rispetto ai tradizionali solai pur garantendo un comportamento di tipo scatolare.



Appendice Sismica

📌 Appendice Sismica (ENEA)



Riportiamo la tesi svolta all'interno delle prove ENEA:

Nel lavoro di tesi si prendono in considerazione due interventi di miglioramento sismico di cui uno tradizionale, consistente nella sostituzione della copertura lignea ("isostatica") con un solaio misto legno-cemento (copertura "iperstatica").

S1

📌 Appendice Sismica (ENEA)

La tesi è stata svolta in collaborazione con l'Ente per le Nuove Tecnologie l'Energia e l'Ambiente (ENEA) e si inserisce all'interno di un progetto più ampio, denominato "Progetto Campec WP2".

In vista delle dimensioni del modello da realizzare si è scelto il sistema denominato "S1" composto da travetti in legno lamellare di sezioni 100 x 120 mm fresati ed armati con traliccio metallico elettrosaldato costituito da due correnti inferiori 5 mm ed un corrente superiore 7 mm in acciaio nervato tipo FeB 44k collegati fra loro per mezzo di staffe di filo liscio 5 mm elettrosaldate.

S2

Appendice Sismica (ENEA)

I travetti completi sono posizionati ad interasse di 66 cm con interposto pannello in polistirene estruso armato sulle due facce con rete in fibra di vetro e malta cementizia dello spessore complessivo di 54 mm. La soletta superiore di completamento armata con rete in acciaio elettrosaldato è in Cls da 5 cm di classe minima Rck 250 N/mm².

I solai misti legno-cemento sono caratterizzati fondamentalmente dal tipo e dalla qualità di connessione tra i due elementi.

S3

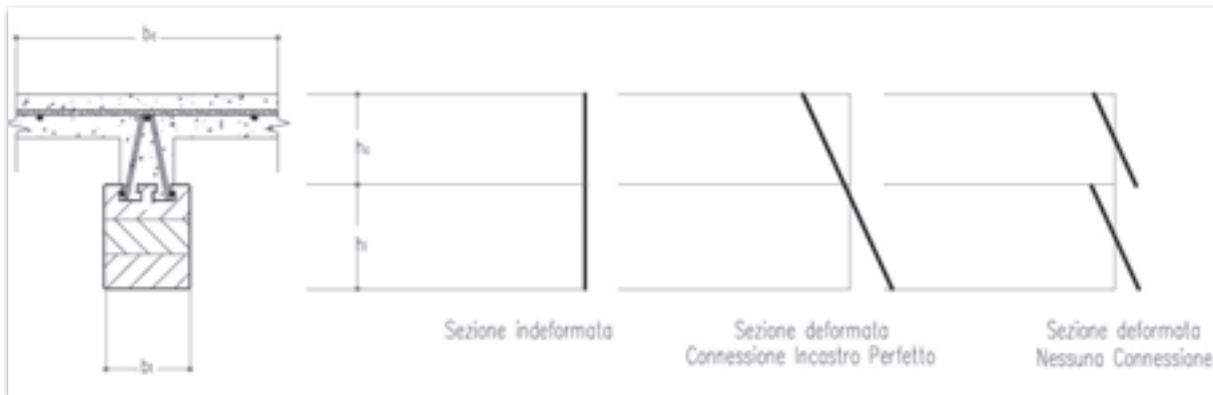
Appendice Sismica (ENEA)

La connessione ideale di incastro perfetto garantisce continuità tra trave in legno e soletta in c.a. e quindi vale l'ipotesi che la sezione piana del travetto composto, a deformazione avvenuta, si mantiene ancora tale. Nel caso, pur sempre ideale, in cui trave in legno e soletta non sono connessi, a deformazione avvenuta, la sezione del travetto è composta da due sezioni piane, distinte, inclinate rispetto al piano verticale, costituite dalle due sezioni degli elementi che lo compongono (Figura 5.3). In dipendenza di ciò nella realtà ci si trova all'interno di questi due casi estremi.

S4

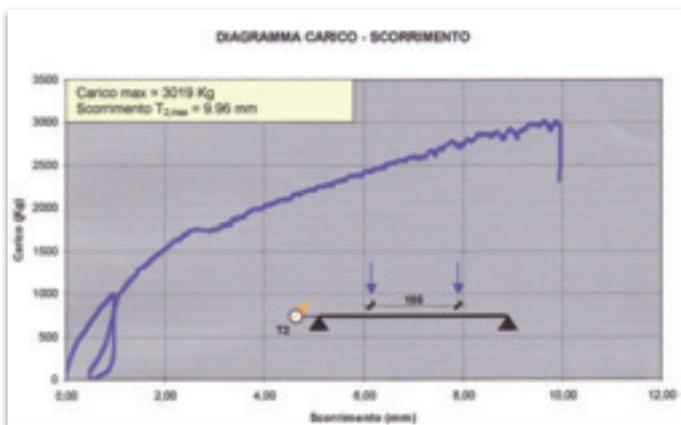
Appendice Sismica (ENEA)

Nel caso reale quindi bisogna caratterizzare la connessione al fine di stabilire le leggi che legano le deformazioni delle sezioni dei due elementi che costituiscono la sezione eterogenea del solaio misto.



S5

Appendice Sismica (ENEA)

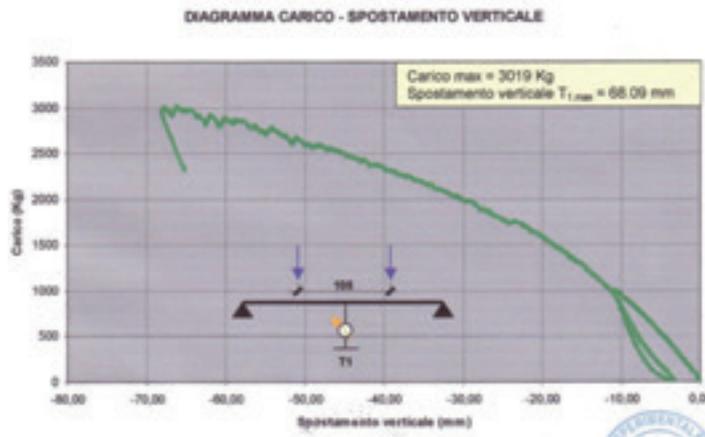


Al fine di caratterizzare la giunzione si deve necessariamente far uso dei dati sperimentali.

Si riportano di seguito i risultati di prove statiche, effettuate dalla ISTEDIL per conto della Coperlegno, eseguite sul travetto di tipo S2 completo di calcestruzzo di un'altezza complessiva di 22 cm (12 + 10) e una lunghezza di 325 cm.

S6

Appendice Sismica (ENEA)



Nei diagrammi si illustra il comportamento del travetto in termini di spostamento verticale del punto di mezzeria della trave ed in termini di scorrimento tra calcestruzzo e legno lamellare all'estremità del travetto.

S7

Appendice Sismica (ENEA)

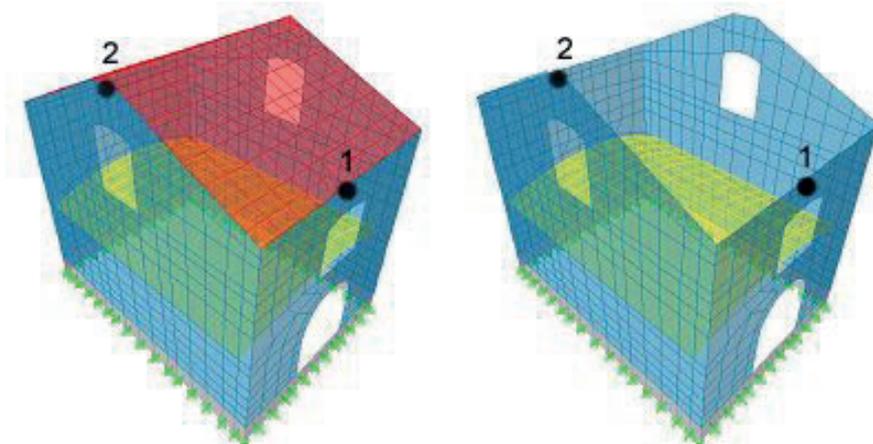
Verifica del miglioramento sismico:

Si considerano, quindi le due componenti orizzontali del sisma Tabas con accelerazione massima in direzione x di 0.5g, superiore all'accelerazione massima prevista dalla Normativa per un terreno di tipo B in Zona 1. Eseguendo due analisi con integrazione diretta delle equazioni del moto, una sul modello non migliorato e l'altra sul modello che presenta il solaio di copertura della Coperlegno S.r.l., è possibile verificare il miglioramento apportato dall'utilizzo di un solaio leggero che irrigidisce la struttura conferendogli un comportamento scatolare.

S8

Appendice Sismica (ENEA)

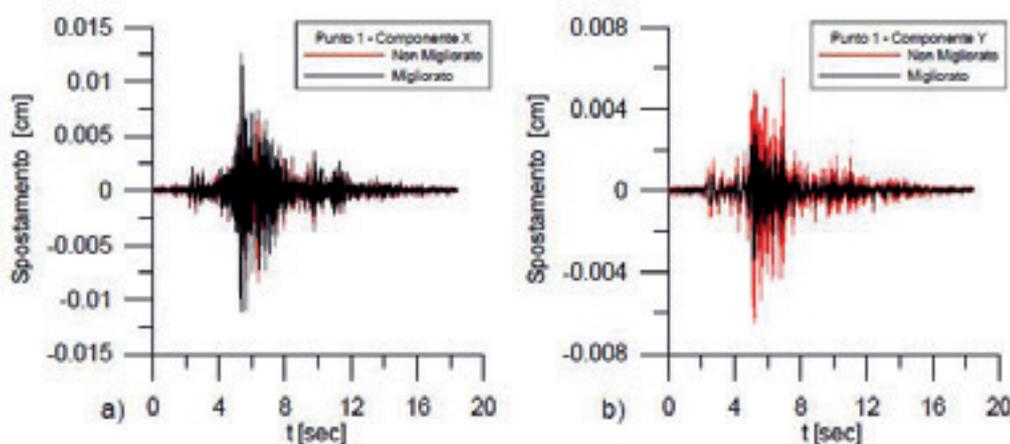
A tale scopo si definiscono due punti di controllo su ciascuno dei modelli uno sul prospetto laterale e uno su quello frontale come illustra la Figura 5.4:



S9

Appendice Sismica (ENEA)

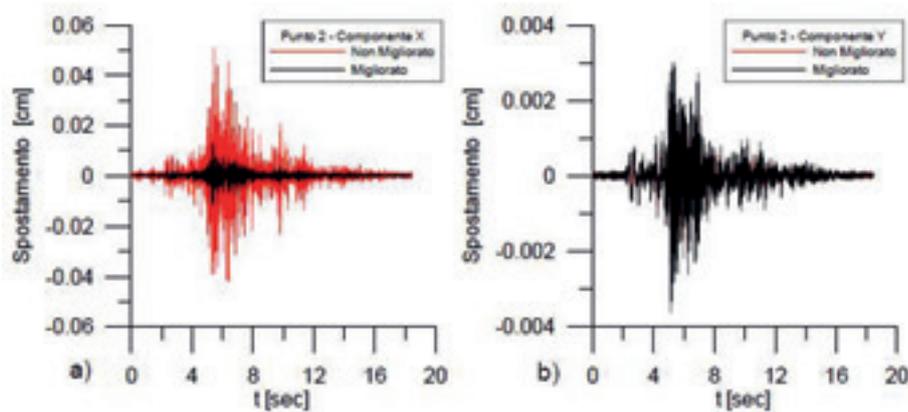
Si riportano nelle Figure 5.5 e 5.6 le sovrapposizioni delle storie di spostamento delle componenti dei punti 1 e 2 rispettivamente dei due modelli (in rosso la curva del modello non migliorato in nero quella del modello con solaio Compound).



S10

📌 Appendice Sismica (ENEA)

Le storie temporali della componente x del Punto 1 e quella y del Punto 2 si sovrappongono nei due modelli. Si nota, invece, un miglioramento con l'uso della copertura irrigidente nelle componenti y del punto 1 e x del punto 2 del 47% e del 73% rispettivamente.



S11

📌 Appendice Sismica (NTC 2018)

Le Norme Tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità.

L'attuale revisione delle Norme Tecniche viene alla luce nove anni dopo l'emanazione delle NTC2008 ed apporta numerose e significative modifiche che tengono conto in modo particolare della sismicità del territorio italiano.

Un aspetto centrale è quello della scelta del metodo d'analisi con una risposta duttile della costruzione e della sua capacità a prezzo di deformazioni crescenti.

S12

Appendice Sismica (NTC 2018)

Per conseguire quindi sezioni, elementi, collegamenti ed in generale strutture duttili si possono utilizzare accortezze costruttive qualunque sia l'azione che produce la domanda progettando in capacità (capacity design).

Per la sezione si passa dal valutare la capacità alle sole resistenze puntuali ed in termini di tensioni (metodo tensioni ammissibili) al valutarla riferendosi alle resistenze di sezione (metodo a rottura).

Si accettano dunque deformazioni plastiche (anche permanenti) con conseguenti riduzioni di rigidezza.

S13

Appendice Sismica (NTC 2018)

Si cerca nella plasticità e nella riduzione di rigidezza che essa comporta un modo per favorire una naturale distribuzione della domanda sia sulla singola sezione e sulla singola membratura che sull'intera costruzione.

Si passa dal valutare la domanda con analisi lineari elastiche al valutarla con analisi plastiche e non lineari.

Sintetizzando, quando si opta per il comportamento non dissipativo le azioni sismiche di progetto sono più elevate, ma la duttilità necessaria è molto contenuta e quindi non è richiesta la progettazione in capacità né l'adozione dei dettagli costruttivi riportati al capitolo 7.

S14

Appendice Sismica (NTC 2018)

Quando invece si opta per il comportamento dissipativo, le azioni sismiche di progetto sono minori, ma la duttilità necessaria è più elevata e dunque è richiesta progettazione in capacità e l'adozione dei dettagli costruttivi specifici.

Il comportamento dissipativo ammette, in generale, un danneggiamento della costruzione, eventualmente anche esteso ma controllato, per i livelli di azione relativi a SLV (Stato limite di salvaguardia della vita) e SLC (Stato limite di prevenzione del collasso) e un possibile danneggiamento, di entità comunque limitata, per lo SLD (Stato limite di danno). La duttilità deve essere conseguita comunque mai a scapito della robustezza.

S15

Appendice Sismica (NTC 2018)

La norma definisce i criteri progettuali per conseguire il livello di duttilità prefissato (progettazione in capacità). In particolare al fine di garantire il comportamento duttile locale e globale, fatta la distinzione fra elementi fragili e duttili, su ciascun elemento si determina:

- La domanda in termini di resistenza (gerarchia delle resistenza tra elementi/meccanismi fragili (più resistenti) ed elementi/meccanismi duttili (meno resistenti).
- La domanda in termini di duttilità nelle zone destinate a plasticizzarsi cui deve essere garantito un comportamento dissipativo e stabile.

S16

Appendice Sismica (NTC 2018)



Il Solaio Compound è concepito appunto in modo tale da poter dissipare elevati quantitativi di energia dinamica tramite lo scorrimento controllato dell'elemento fragile, rappresentato dal traliccio

metallico inglobato nella malta a stabilità volumetrica, all'interno dell'elemento duttile, costituito invece dal travetto lamellare con fresatura di alloggiamento, avente anche funzione di binario lineare di scorrimento del traliccio stesso.

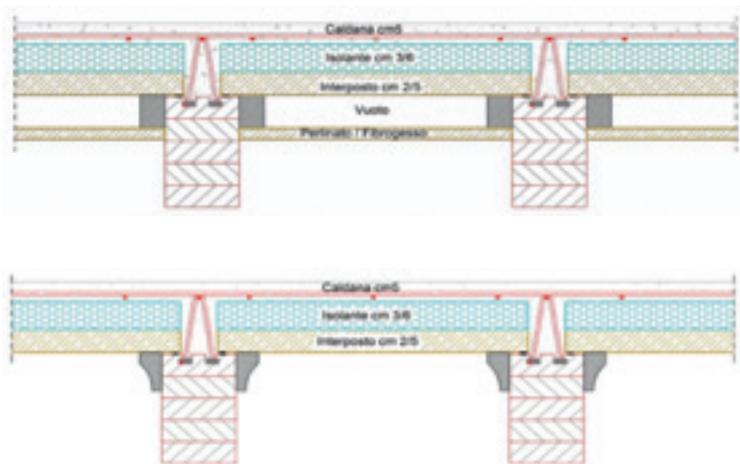
S17

La resistenza al fuoco è un requisito essenziale di prestazione per progettare in capacità.



Resistenza al fuoco

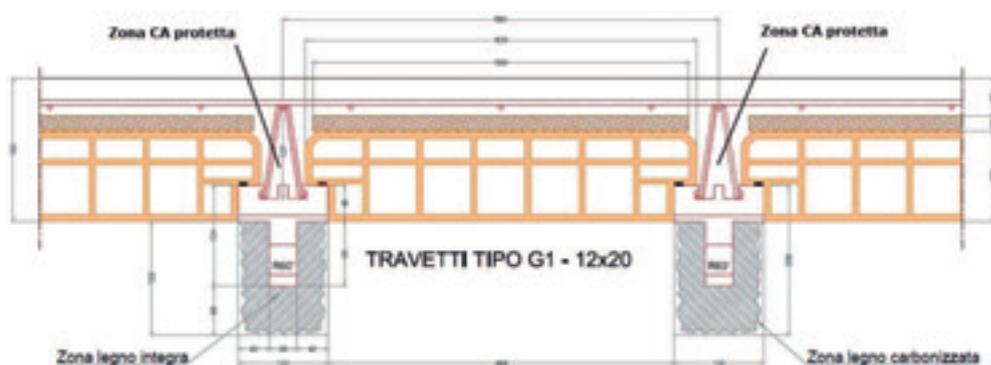
43



Per quanto concerne l'utilizzo del Solaio Compound® nelle verifiche di resistenza al fuoco, abbiamo la possibilità di creare le opportune protezioni del traliccio Bausta connesso all'estradosso

delle travi attraverso l'applicazione di listelli sagomati e fissati ai fianchi delle stesse oppure utilizzando come interposti appositi blocchi laterizi ricalanti. In questo modo si mantengono inalterate le sezioni come da calcolo a freddo.

La connessione attraverso il traliccio Bausta permette di considerare, per le verifiche strutturali del solaio a seguito di un'esposizione al fuoco, oltre alla sezione residua del trave in legno anche la trave a T in cemento che è resistente e risulta fondamentale.



Appendice Fuoco

Appendice Fuoco

Il requisito essenziale di sicurezza in caso di incendio prevede una progettazione tale che:

- la capacità portante dell'opera stessa possa essere garantita per un determinato periodo di tempo;
- la propagazione del fuoco e del fumo all'interno dell'opera sia limitata;
- gli occupanti possano lasciare il fabbricato indenni o essere soccorsi altrimenti;
- sia valutata la sicurezza delle squadre di emergenza.

Appendice Fuoco

Si debbono quindi valutare gli aspetti legati alla Reazione al fuoco ed alla Resistenza al fuoco.

Per “Reazione al fuoco” s’intende il grado di partecipazione di un materiale alla combustione.

In relazione a ciò, sono assegnate delle classi in funzione dell’attitudine alla combustione.

Per “Resistenza al fuoco” s’intende l’attitudine di un elemento da costruzione a conservare sotto l’azione del fuoco, per un tempo determinato, in tutto o in parte Resistenza – Ermeticità - Isolamento (REI).

F2

Appendice Fuoco



Quindi le caratteristiche proprie dei prodotti utilizzati in edilizia determinano il loro grado di partecipazione attivo o passivo all’innesco ed alla successiva propagazione dell’incendio.

F3

Appendice Fuoco

I principali motivi di attivazione di un incendio sono:

- errata realizzazione di canne fumarie e comignoli;
- scarsa manutenzione e pulizia di canne fumarie e camini;
- scariche elettriche provenienti da fulmini;
- errata installazione o progettazione di impianti fotovoltaici;
- errata esecuzione di impianti elettrici;
- fughe di gas ed azioni dolose.

F4

Appendice Fuoco

Il legno è un cattivo conduttore di calore e la sua temperatura rimane invariata appena sotto la superficie interessata dalla combustione preservando il sovrastante materiale dall'azione diretta del fuoco.

A differenza di altri materiali come l'acciaio che, sottoposto ad alte temperature perde velocemente la propria capacità portante, il legno conserva inalterate le proprie caratteristiche di resistenza meccanica e di modulo elastico nella parte non interessata da fenomeni di combustione, quindi immediatamente al di sotto dello strato carbonizzato ed è perciò in grado di garantire la propria capacità per diverse ore in quanto gli strati interni del materiale vengono protetti da quelli esterni.

F5

Appendice Fuoco

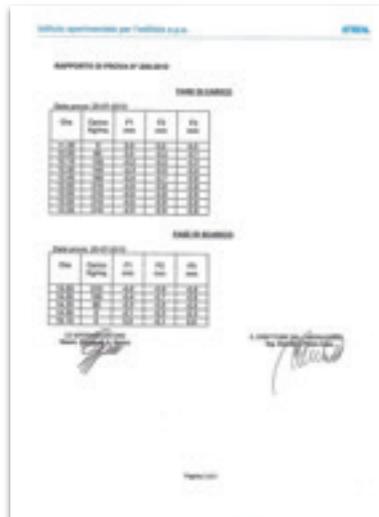
A seconda della velocità di avanzamento dello strato carbonizzato si potranno dimensionare i singoli elementi ottenendo quindi una adeguata resistenza al fuoco.



F6

Appendice Fuoco

In maniera esemplificativa viene qui riportata una verifica, certificata attraverso test di collaudo, relativa al Solaio Compound che ha subito un incendio doloso.



F7

L'intera filiera del ciclo produttivo è certificata a partire dai singoli elementi e fino al loro assemblaggio e collaudo.



Certificazioni e Collaudi

47



In ottemperanza ai:

D.M. Infrastrutture del 17/01/2018;

D.l.g.s. 106 del 16/06/2017;

Regolamento UE 305/2011;

D.M. Infrastrutture del 14/02/2008;

Norma EN 1995-1-1;

Viene costantemente controllata la filiera produttiva che va dal legno lamellare certificato con DoP e relativa marcatura, al traliccio metallico ed alla malta a stabilità volumetrica, anch'essi completi dei medesimi documenti .

48



Si procede quindi al confezionamento del kit solaio composto all'interno dello stabilimento identificato presso il *Servizio Tecnico Centrale* quale centro di lavorazione di elementi strutturali in legno.

Si certifica infine la prestazione tramite DoP nella quale è riportata la Valutazione Tecnica Europea (ETA) di riferimento ed infine si predispone la dichiarazione di conformità dello specifico lotto di produzione.



La rispondenza delle varie certificazioni è riscontrata oggettivamente tramite prove di collaudo effettuate periodicamente sui solai posti in opera direttamente nei cantieri.

Queste verifiche pratiche permettono di valutare il comportamento del solaio stesso nelle varie condizioni di lavoro in abbinamento a varie tipologie di strutture verticali ancorché sottoposto ad azioni non ordinarie come incendi ed eventi sismici.

Appendice Certificazioni e Collaudi

Appendice Certificazioni e Collaudi



Centro di lavorazione autorizzato

In conformità al D.M. 14/01/2008 ed a partire dal 2009 è stato ottenuto l'attestato di denuncia dell'attività di lavorazione di elementi strutturali in legno, con la prevista qualificazione effettuata dal Servizio Tecnico Centrale.

L'attività produttiva è quindi documentata e verificata con ispezioni periodiche ministeriali.

Appendice Certificazioni e Collaudi



Certificazione di Qualità

Il sistema ISO 9001:2015 garantisce i controlli e le procedure di verifica dei vari processi produttivi, particolarmente rilevanti per quanto concerne la tracciabilità di ciascun lotto di produzione e la costanza delle prestazioni richieste ed attestate nella valutazione tecnica europea. Questi controlli quindi garantiscono, insieme a quelli del Direttore Tecnico la qualità dei prodotti finiti.

C2

Appendice Certificazioni e Collaudi



Dichiarazione di Prestazione (CE)

Le informazioni contenute in questo certificato identificano e correlano il prodotto alle rispettive prestazioni. Sono inclusi inoltre tutti quegli elementi che vanno dalla valutazione tecnica europea agli usi previsti e al marchio CE che rappresenta appunto un sommario dei dati già riportati nella Dichiarazione di Prestazione stessa.

C3

Appendice Certificazioni e Collaudi



Valutazione Tecnica Europea (ETA)

Dal 09/08/2017 sono cogenti le nuove regole per l'utilizzo dei nuovi prodotti da costruzione (D. lgs. 106/2017 del 16/06/2017) e quindi nel caso di assemblaggio di due o più componenti distinti, il regolamento UE n.305/2011 richiede specificamente rispondenza del kit ad una norma armonizzata o ad un'ETA. Nel caso dei solai legno-clc, non essendovi norma, si è ottenuta specifica ETA.

C4

Appendice Certificazioni e Collaudi



Conformità di Lotto

Il Ciclo Produttivo Industrializzato consente l'emissione del relativo Certificato Di Conformità del Lotto in quanto il confezionamento dei travetti è eseguito in modalità standard e la tracciabilità è garantita tramite apposizione per punzonatura di tutti i dati identificativi previsti dalla normativa vigente. Soddisfa a pieno le regole riportate nel D.lgs 106/2017 e nel Reg. UE n. 305/2011.

C5

Appendice Certificazioni e Collaudi



Collaudo Statico su telaio in legno

E' stato effettuato il collaudo statico del Solaio Compound utilizzato in connessione diretta all'interno di una struttura in legno di tipo a telaio pesante.



Collaudo Statico su struttura in muratura portante

E' stata effettuata una prova di collaudo statico del Solaio Compound utilizzato in connessione diretta all'interno di una muratura portante in blocchi di laterizio.

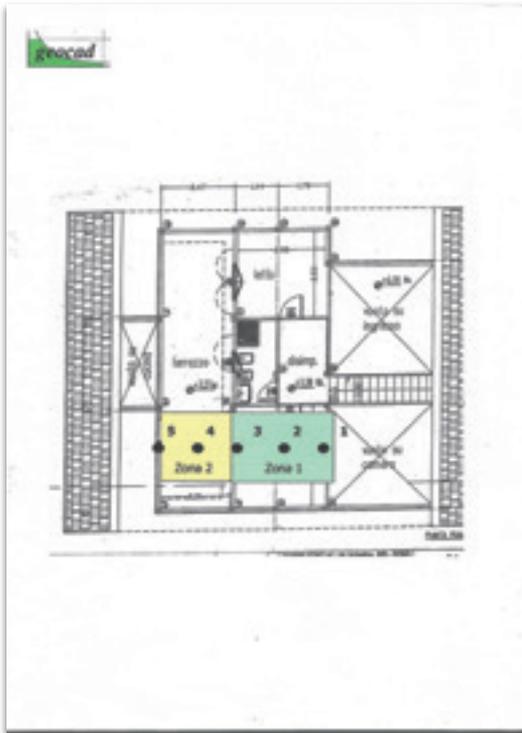
C6

Appendice Certificazioni e Collaudi



C7

Appendice Certificazioni e Collaudi



C8

Appendice Certificazioni e Collaudi



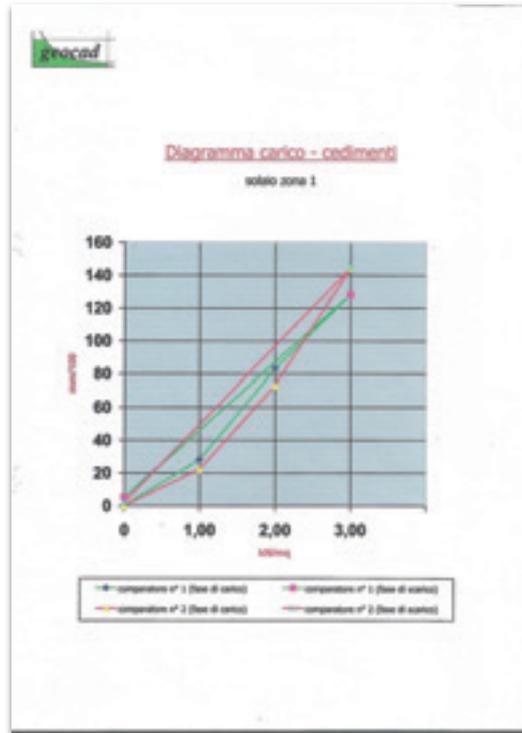
C9

Appendice Certificazioni e Collaudi

geocad

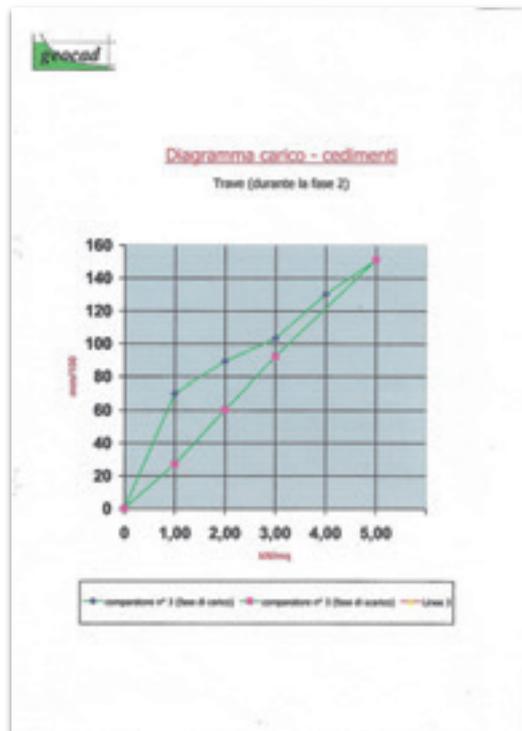
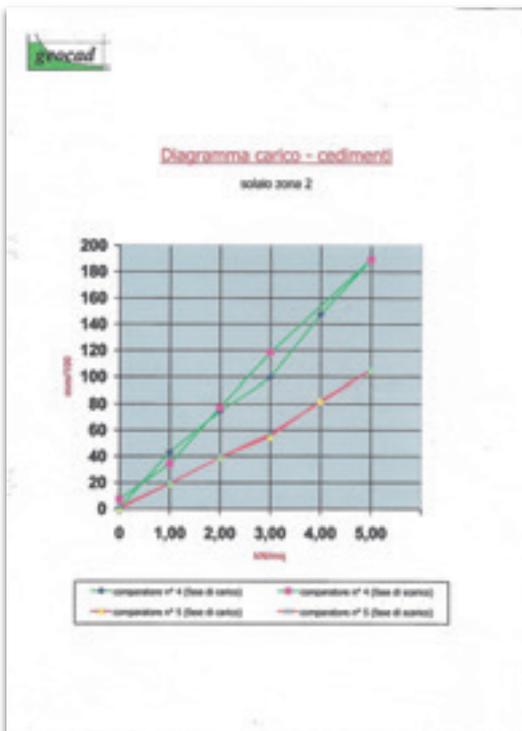
Tabella dei cedimenti

CARICO (kN/m ²)	DATA	ORA	1 (mm/20)	2 (mm/20)	3 (mm/20)	4 (mm/20)	5 (mm/20)
0 *	11/02/2003	12:00	0	0	0	0	0
1,0 **	-	12:30	28	22	11	5	-3
2,0 **	-	12:50	43	35	20	11	-3
3,0 **	-	13:25	126	104	53	19	-4
1,0 **	-	14:00	127	115	70	40	19
2,0 **	-	14:30	127	114	89	74	39
3,0 **	-	14:55	128	108	103	99	55
4,0 **	-	15:25	128	115	130	147	81
6,0 **	-	15:45	130	100	151	189	106
1,0 **	-	16:00	130	100	151	189	106
3,0 **	-	16:50	106	115	81	118	57
2,0 **	-	17:20	62	86	40	77	29
1,0 **	-	17:30	29	40	27	34	19
0	-	17:40	5	2	8	7	1
0	-	18:00	4	2	8	8	8



C10

Appendice Certificazioni e Collaudi



C11

I pesi contenuti, in parallelo ai particolari costruttivi del sistema, facilitano l'utilizzo di questo solaio.



Pesi Contenuti e Particolari Costruttivi

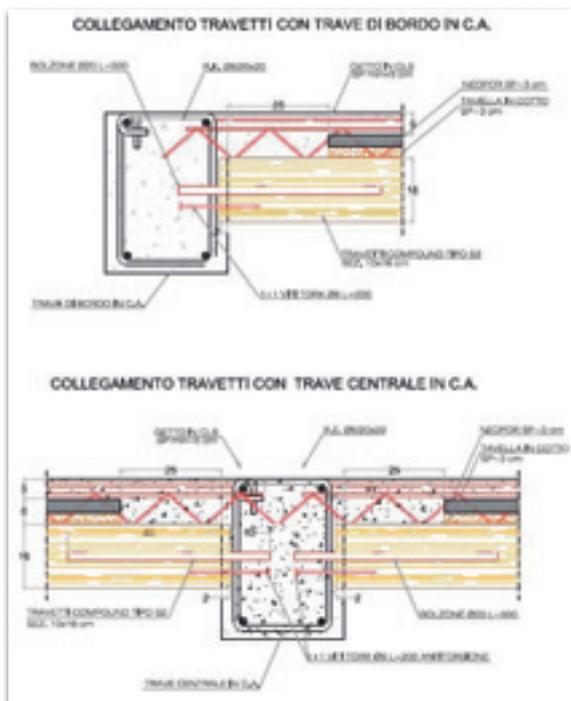
52

I pesi contenuti del Solaio Compound, oltre che agevolare la logistica in ordine ai trasporti ed alle movimentazioni di cantiere, facilitano e semplificano le varie fasi di montaggio contenendone i costi e rappresentano un contributo sostanziale alla riduzione dei carichi permanenti gravanti sulle strutture verticali.

SOLAIO COMPOUND		SOLAIO COMPOUND	
CARATTERISTICHE DI MASSA DEL "SOLAIO COMPOUND" travetti serie S		SOLAIO CON INTERPOSTO PANNELLO COMPOUND spess. mm 54 - 1 x con 54	
tipi	caratteristiche elementi	area mq per m ²	peso specifico del m ³
G1	COLATELLE mm 50	0,08	2400
	TRAVETTI	0,0026	1200
	TRAVETTI MANTILE (classi G1-G2)	0,0026	1200
	INTELLI (classi G1-G2)	0,0026	1200
	PANNELLO COMPOUND mm 54	0,0026	1200
peso proprio totale del m ² 155			
G2	COLATELLE mm 50	0,08	2400
	TRAVETTI	0,0026	1200
	TRAVETTI MANTILE (classi G1-G2)	0,0026	1200
	INTELLI (classi G1-G2)	0,0026	1200
	PANNELLO COMPOUND mm 54	0,0026	1200
peso proprio totale del m ² 155			
G3	COLATELLE mm 50	0,08	2400
	TRAVETTI	0,0026	1200
	TRAVETTI MANTILE (classi G1-G2)	0,0026	1200
	INTELLI (classi G1-G2)	0,0026	1200
	PANNELLO COMPOUND mm 54	0,0026	1200
peso proprio totale del m ² 155			

SOLAIO COMPOUND		SOLAIO COMPOUND	
CARATTERISTICHE DI MASSA DEL "SOLAIO COMPOUND" travetti serie S		SOLAIO CON INTERPOSTO PANNELLO COMPOUND spess. mm 54 - 1 x con 66	
tipi	caratteristiche elementi	area mq per m ²	peso specifico del m ³
S1	COLATELLE mm 50	0,08	2400
	TRAVETTI	0,0026	1200
	TRAVETTI MANTILE (classi G1-G2)	0,0026	1200
	INTELLI (classi G1-G2)	0,0026	1200
	PANNELLO COMPOUND mm 54	0,0026	1200
peso proprio totale del m ² 148			
S2	COLATELLE mm 50	0,08	2400
	TRAVETTI	0,0026	1200
	TRAVETTI MANTILE (classi G1-G2)	0,0026	1200
	INTELLI (classi G1-G2)	0,0026	1200
	PANNELLO COMPOUND mm 54	0,0026	1200
peso proprio totale del m ² 148			
S3	COLATELLE mm 50	0,08	2400
	TRAVETTI	0,0026	1200
	TRAVETTI MANTILE (classi G1-G2)	0,0026	1200
	INTELLI (classi G1-G2)	0,0026	1200
	PANNELLO COMPOUND mm 54	0,0026	1200
peso proprio totale del m ² 155			

53



Questa tipologia di Solaio è comprensiva di svariati particolari costruttivi concepiti in modo tale da risolvere opportunamente ed efficacemente le problematiche specifiche nell'inserimento e/o accoppiamento del solaio stesso, sia con le verticalizzazioni che con le varie tipologie di orditura primaria.

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi

CARATTERISTICHE DI MASSA DEL "SOLAIO COMPOUND" - travetti serie S							
SOLAIO CON INTERPOSTA TAVELLA FORATA IN LATERIZIO appesi, mm 40 - f.a. cm 50							
Sp	caratteristiche elementi	area netta per m ²	ρ specifico dell'elemento	spessore dell'elemento	altezza dell'elemento	incidenza per m ²	massa dell'elemento
S1	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S2	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S3	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
peso progetto totale dell'opera 187							

CARATTERISTICHE DI MASSA DEL "SOLAIO COMPOUND" - travetti serie S							
SOLAIO CON INTERPOSTA TAVELLA FORATA IN LATERIZIO appesi, mm 40 - f.a. cm 50							
Sp	caratteristiche elementi	area netta per m ²	ρ specifico dell'elemento	spessore dell'elemento	altezza dell'elemento	incidenza per m ²	massa dell'elemento
S1	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S2	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S3	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
peso progetto totale dell'opera 200							

CARATTERISTICHE DI MASSA DEL "SOLAIO COMPOUND" - travetti serie S							
SOLAIO CON INTERPOSTA TAVELLA FORATA IN LATERIZIO appesi, mm 30 - f.a. cm 50							
Sp	caratteristiche elementi	area netta per m ²	ρ specifico dell'elemento	spessore dell'elemento	altezza dell'elemento	incidenza per m ²	massa dell'elemento
S1	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S2	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S3	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
peso progetto totale dell'opera 170							

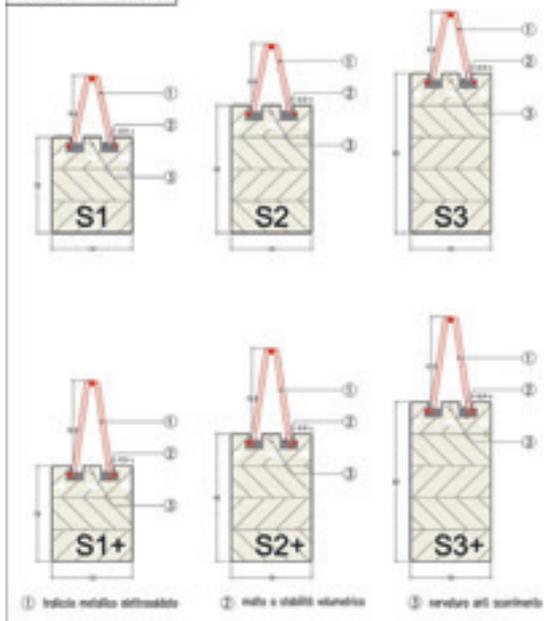
CARATTERISTICHE DI MASSA DEL "SOLAIO COMPOUND" - travetti serie S							
SOLAIO CON INTERPOSTA TAVELLA FORATA IN LATERIZIO appesi, mm 30 - f.a. cm 50							
Sp	caratteristiche elementi	area netta per m ²	ρ specifico dell'elemento	spessore dell'elemento	altezza dell'elemento	incidenza per m ²	massa dell'elemento
S1	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S2	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
S3	SOLLETTA C/L	0,35	2400	1,00	1	1,35	120,00
	TRAVETTO C/L	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRAVETTO LAMINARE classe S120	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
	TRALICCO ELETTRONALCANTO Ø 20x1	0,2000	2400	1,40	1	1,70	50,40
peso progetto totale dell'opera 181							

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi

SCHEDA TECNICA "SOLAIO COMPOUND" - ABACO TRAVETTI TIPO S

LEGNO LAMINARE GLUE MARCHE CE - TRALICCO METALLICO Ø mm 50 / 120 - app. Ø mm S - F - S - ad Ø mm S

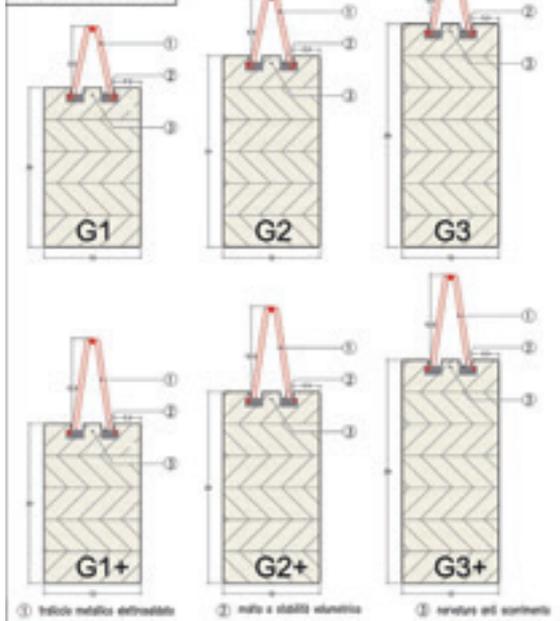
S1 - 10x12
S2 - 10x16
S3 - 10x20



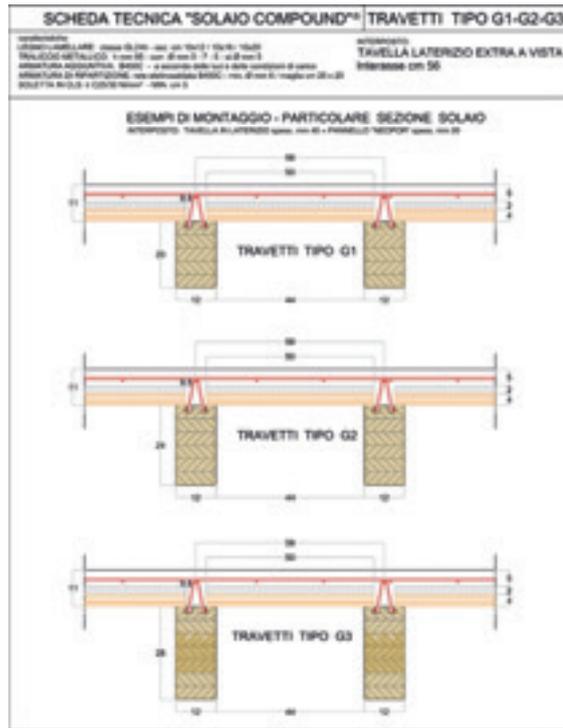
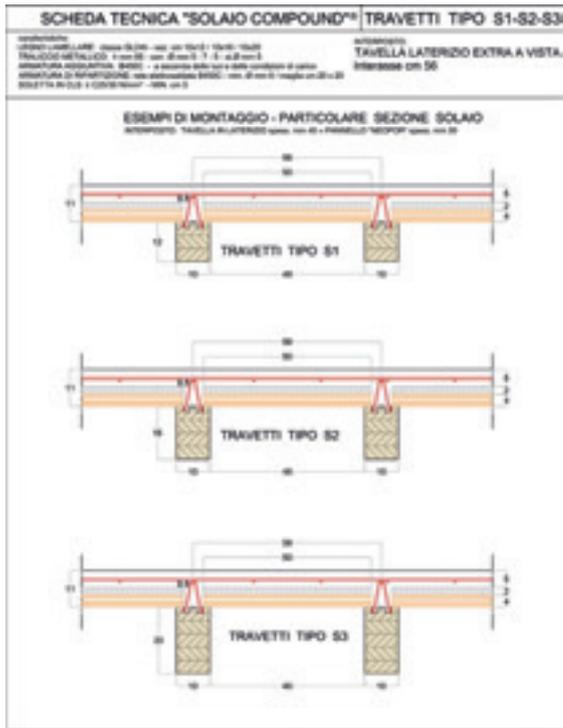
SCHEDA TECNICA "SOLAIO COMPOUND" - ABACO TRAVETTI TIPO G

LEGNO LAMINARE GLUE MARCHE CE - TRALICCO METALLICO Ø mm 50 / 120 - app. Ø mm S - F - S - ad Ø mm S

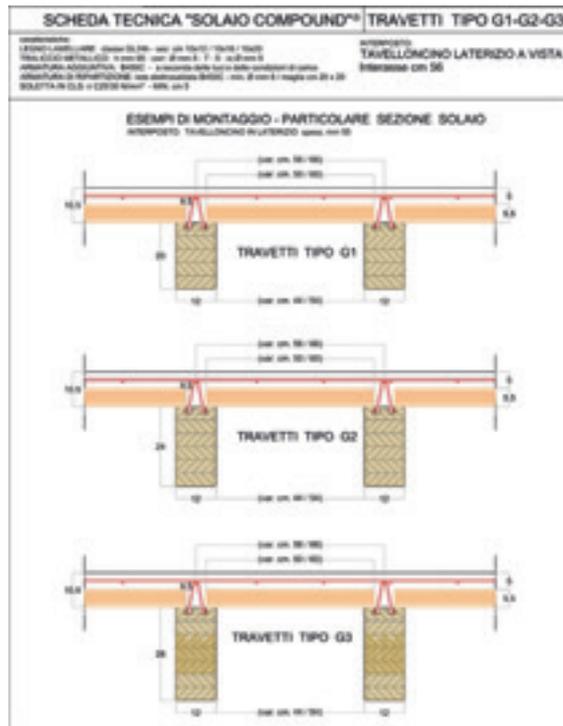
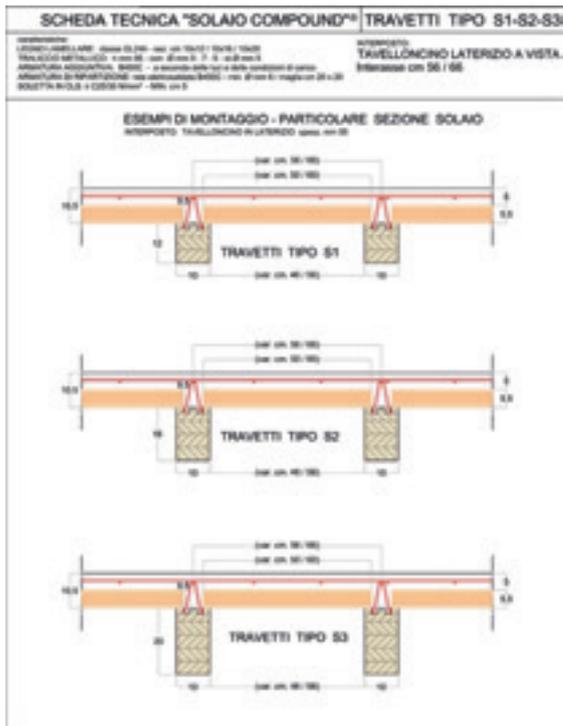
G1 - 12x20
G2 - 12x24
G3 - 12x28



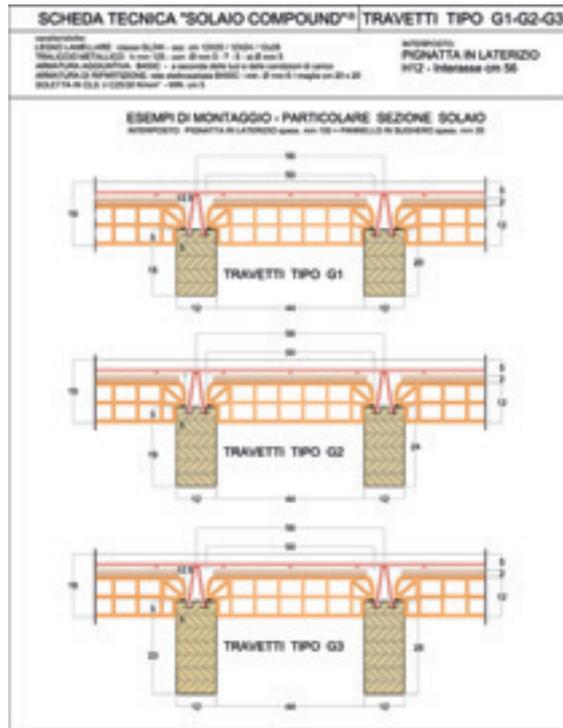
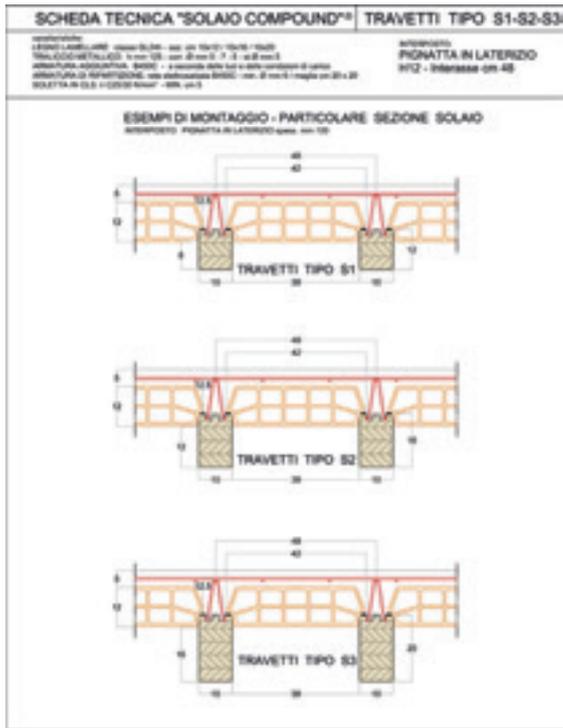
Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



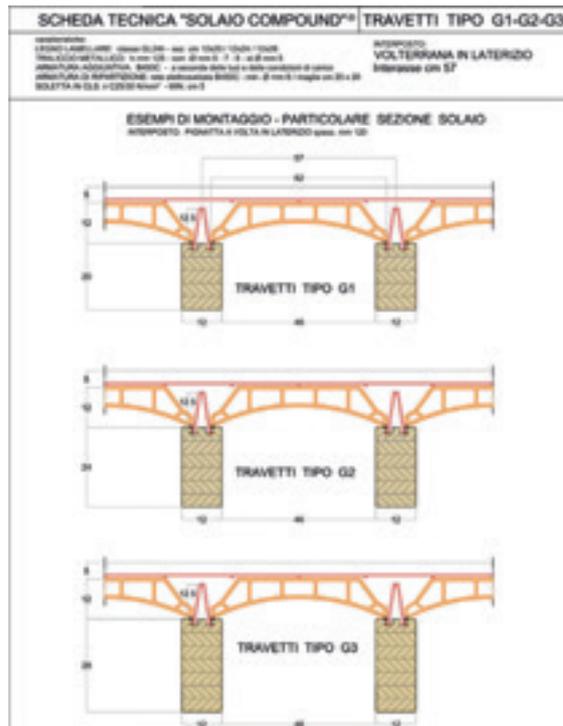
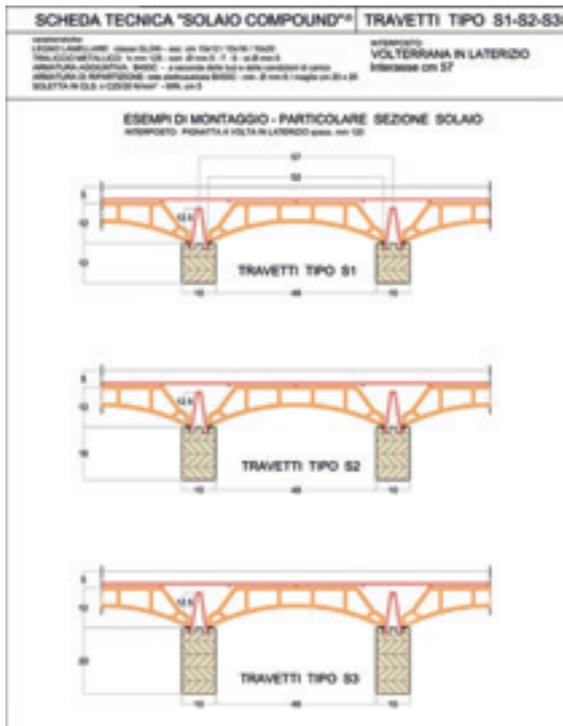
Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



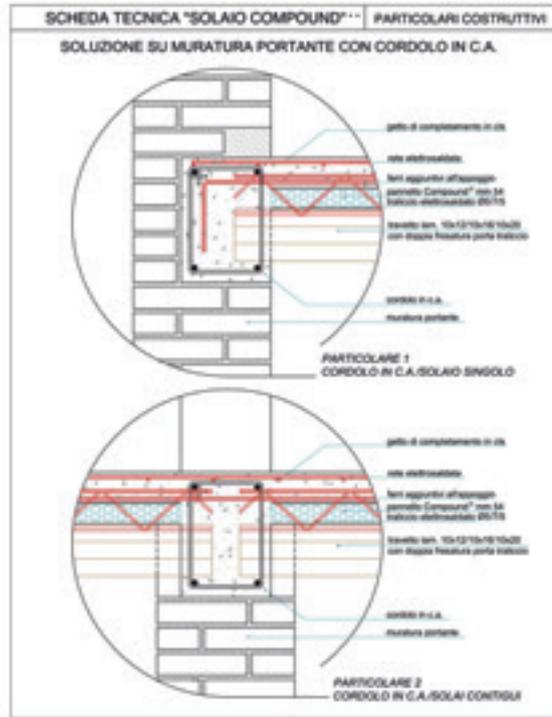
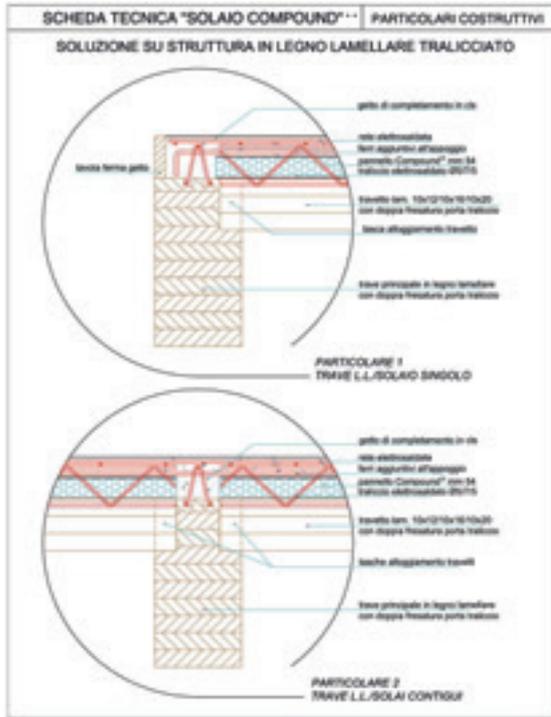
Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi

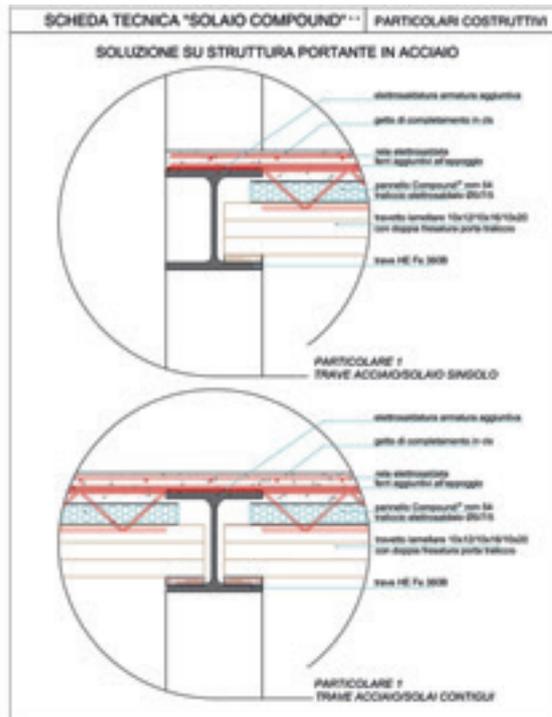
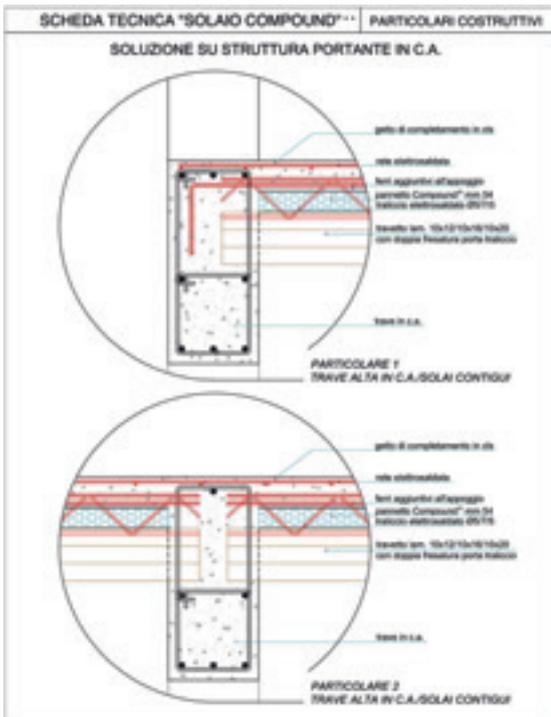


Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



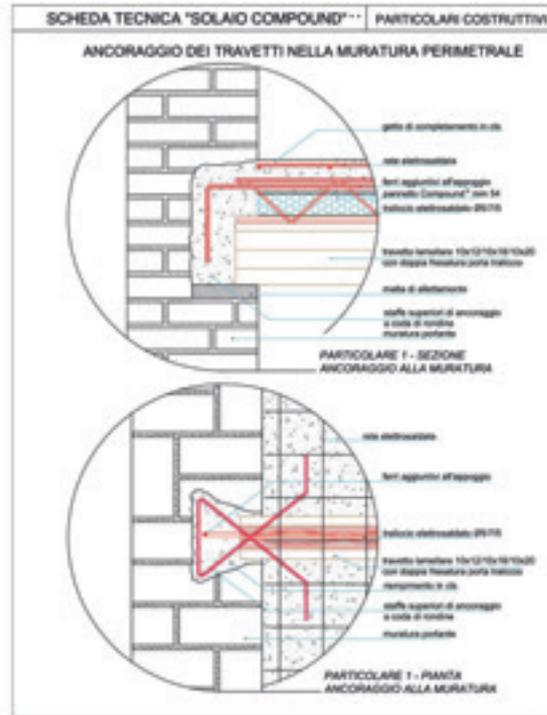
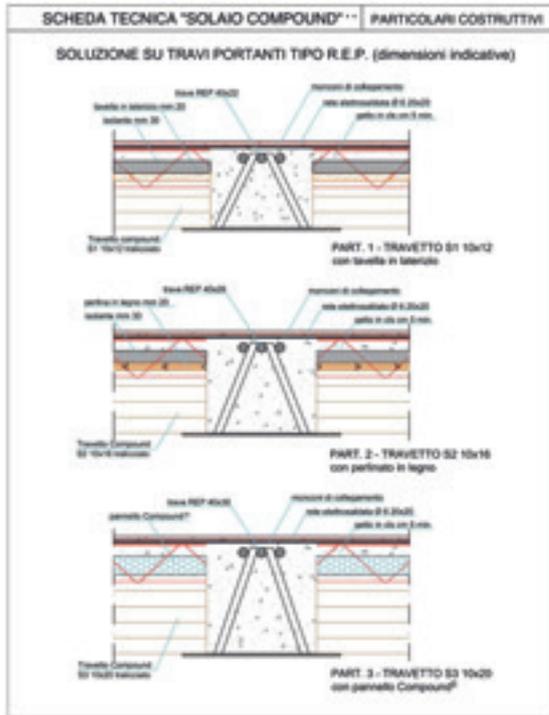
P4

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



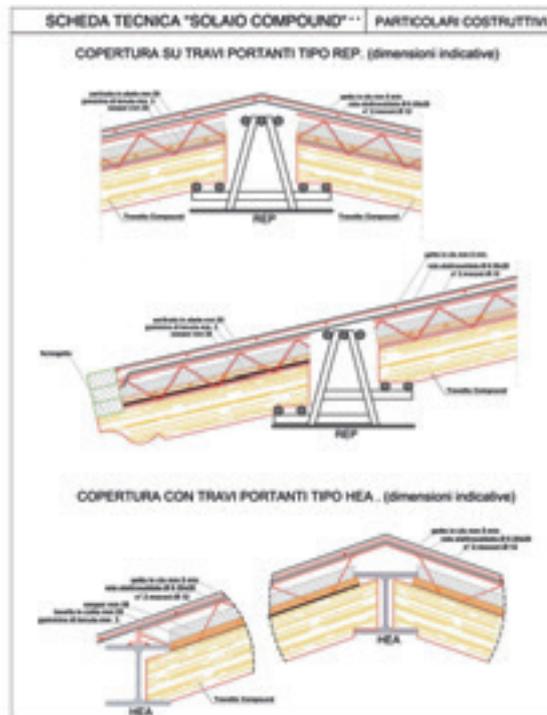
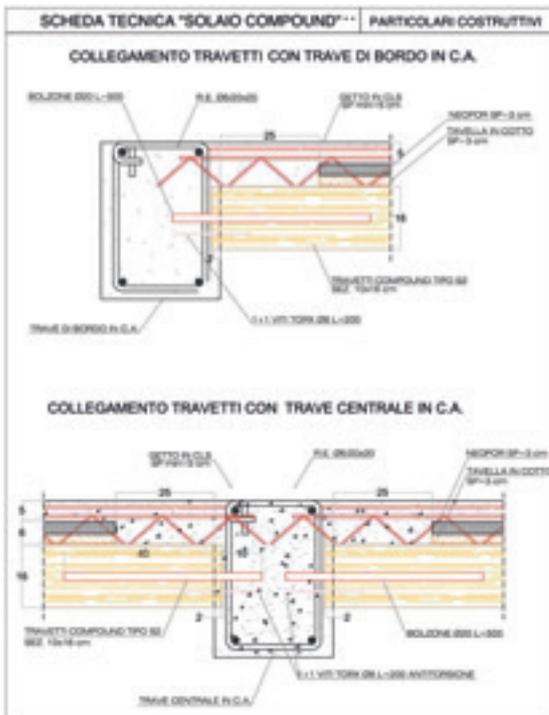
P5

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



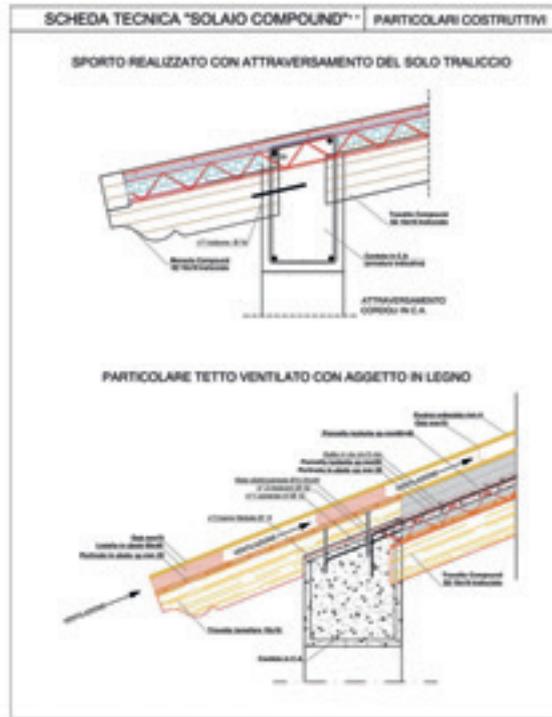
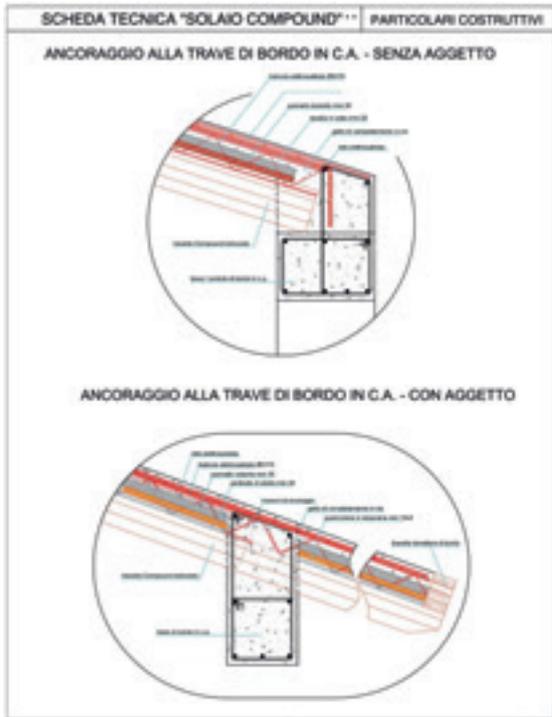
P6

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



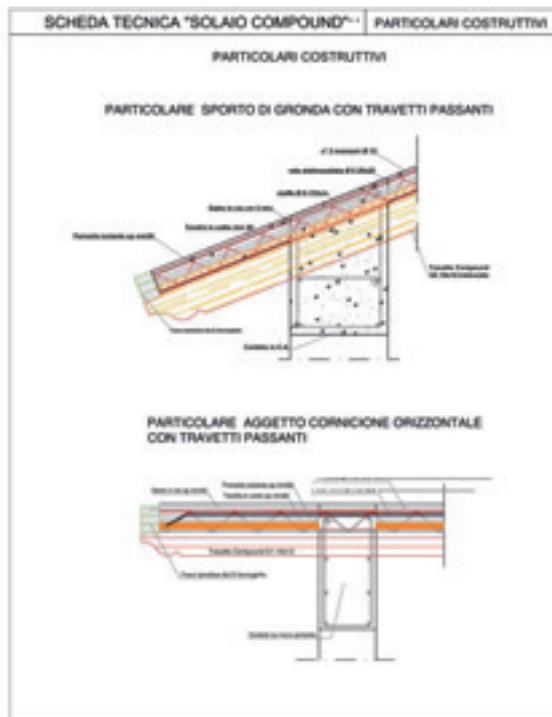
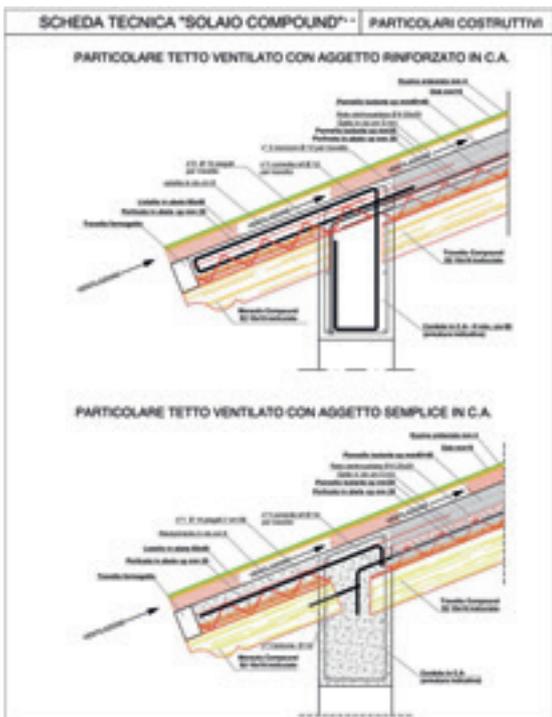
P7

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



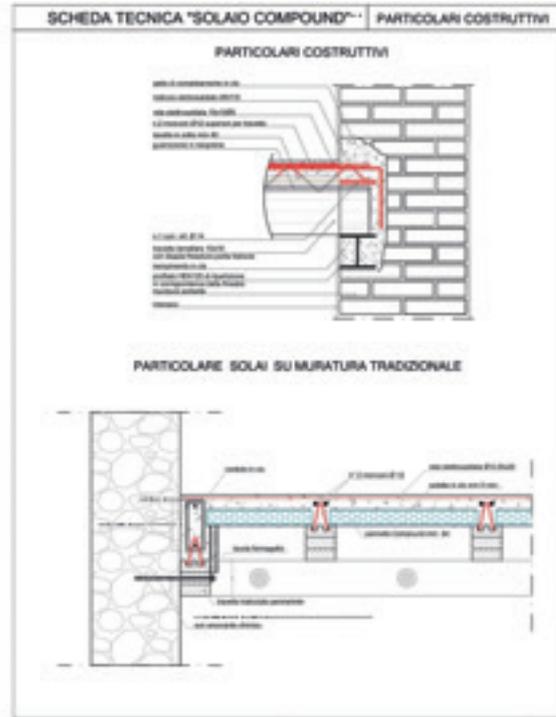
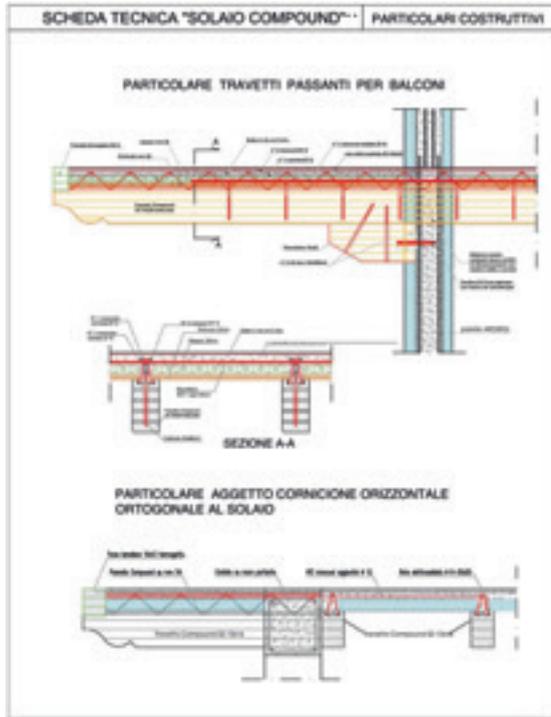
P8

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



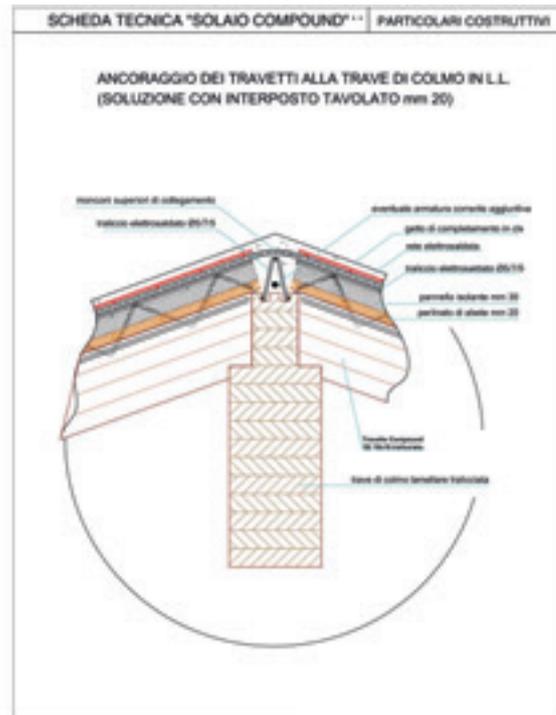
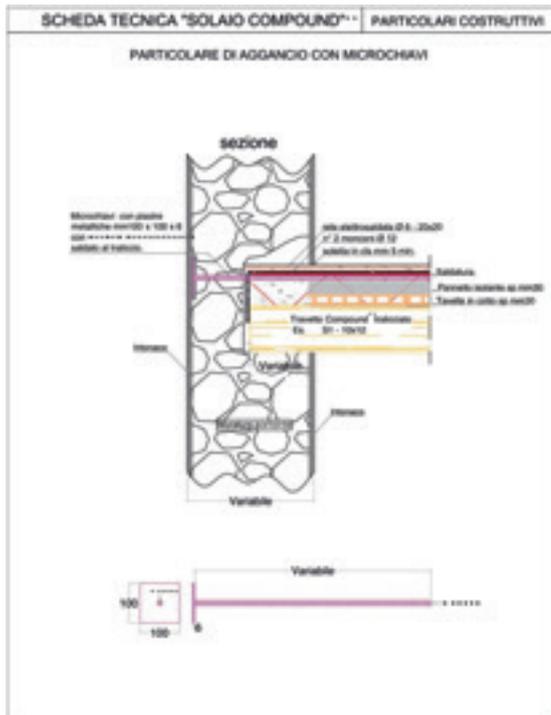
P9

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



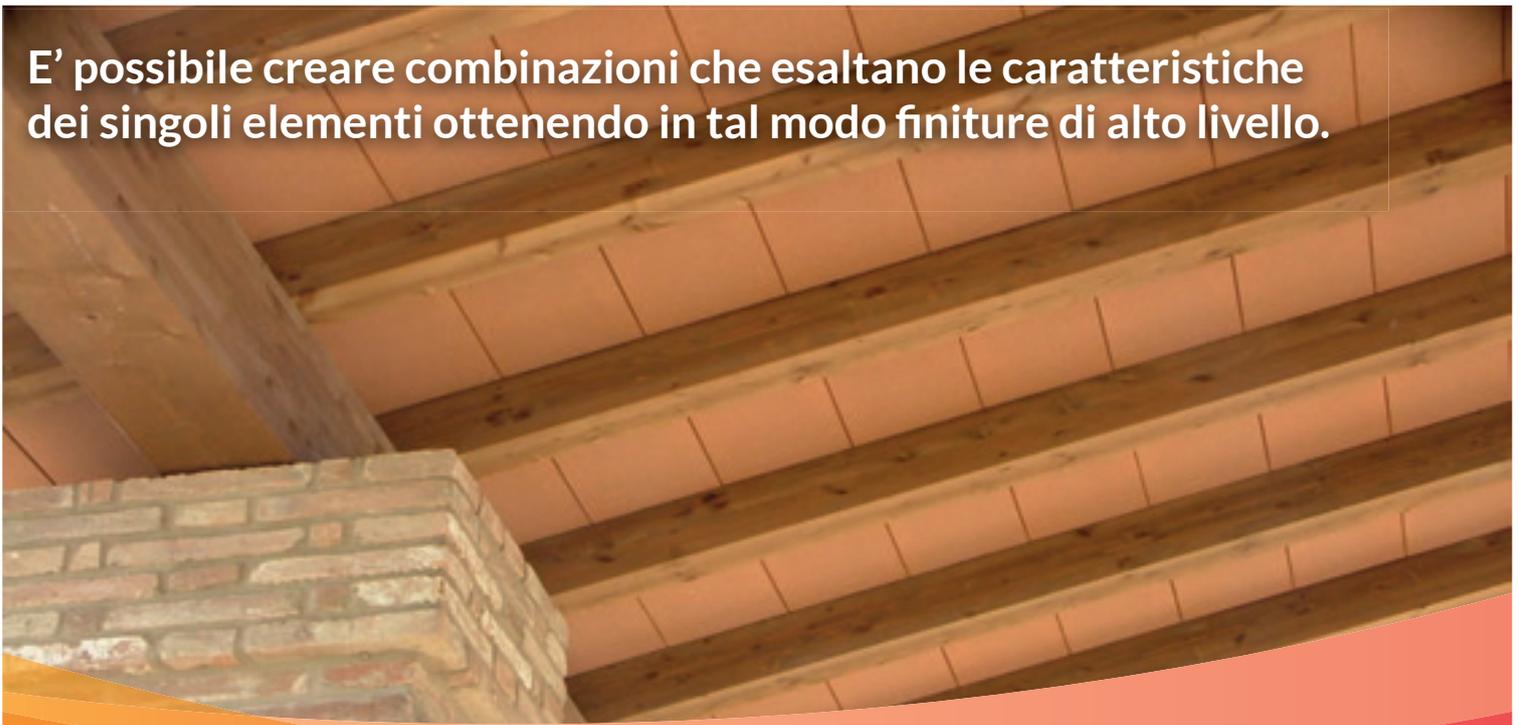
P10

Appendice Pesì Contenuti e Particolari Costruttivi



P11

E' possibile creare combinazioni che esaltano le caratteristiche dei singoli elementi ottenendo in tal modo finiture di alto livello.



Finiture di alto livello

56



Il **Pannello Compound** nella versione **Evolution** è un interposto con cui si ottiene un interessante abbinamento che richiama i tradizionali soffitti che lasciavano a vista la travatura intradossando il tavolato con incannucciata rasata.

57

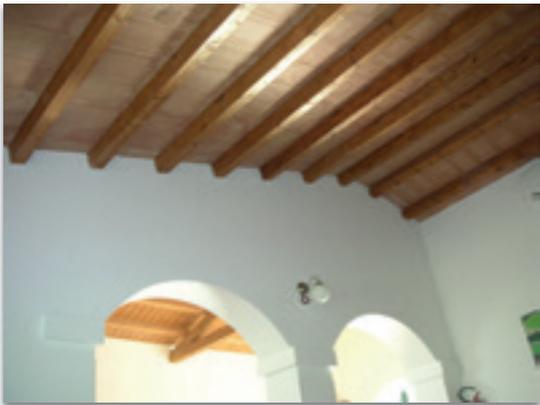


58



Le **Tavelle in Cotto** nelle varie tonalità e finiture esaltano e caratterizzano il solaio elevando il livello estetico dell'opera e ne qualificano l'unicità.

59





62



Le **Volterrane in Laterizio** rappresentano un elemento molto legato alla tradizione di alcune regioni italiane e richiamano l'estetica di antiche ambientazioni.

63



64



Il **Perlinato** è un classico interposto che viene utilizzato sia per i solai di calpestio che per quelli di copertura quando si richiede un effetto legno su legno.

65



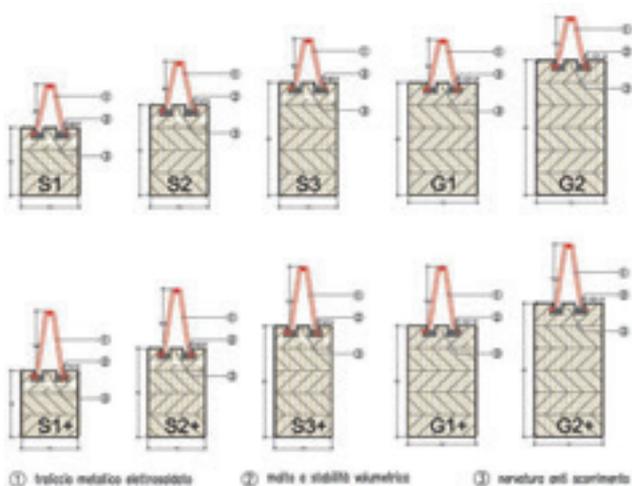
Le voci di capitolato rappresentano uno strumento utile per i tecnici definendo in maniera univoca le varie combinazioni.

Voci di Capitolato

1PP**Solaio in legno lamellare tralicciato con alleggerimento interposto realizzato tramite pannelli di polistirene**

Solaio misto legno-calcestruzzo composto da travetti in legno lamellare di abete rosso fresati con risalti centrali in legno interrotti a passo costante ed armati con traliccio metallico elettrosaldato in acciaio nervato tipo B 450 C preinserito meccanicamente a pressione, protetto nei correnti inferiori con malta a stabilità volumetrica, i travetti completi sono posizionati ad interasse di 66 cm con interposto pannello in poliestere estruso armato sulle due facce con rete in fibra di vetro e malta cementizia dello spessore complessivo di 5,4 cm. Il solaio sarà atto a sopportare carichi permanenti di 250 daN/m² e accidentali di 200 daN/m² oltre il peso proprio. Compresa e compensata nel prezzo l'armatura di unione delle testate dei travetti alle travi, i monconi in acciaio, posizionati superiormente per nervatura, a copertura del taglio e dei momenti negativi e l'armatura di ripartizione nella soletta superiore, nonché le armature della eventuale nervatura di ripartizione trasversale, tutti in acciaio del tipo B4SOC. Compreso l'onere della posa in opera, la eventuale ulteriore puntellatura provvisoria, le casseforme e le armature di sostegno di qualunque tipo, natura, forma e specie, fino ad un'altezza di 4 m dal piano di appoggio. Compreso l'onere per i getti di solidarizzazione, in opera, con calcestruzzo di classe, (secondo UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004), non inferiore C20/25, della soletta, superiore di spessore 5 cm, delle fasce piene e delle nervature trasversali di ripartizione. Compreso l'onere delle prove statiche e verifiche previste dalle norme vigenti in materia e quanto altro occorra per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. Per superficie misurata dai bordi interni dei cordoli o travi di appoggio dei solai. Sono esclusi gli oneri delle opere murarie, di carpenterie per l'alloggiamento delle travi, opere provvisionali, eventuali tinteggiature e trasporto.

68

**1PP**

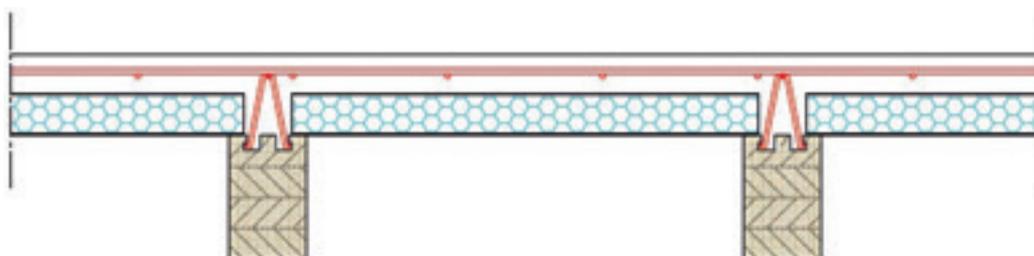
1a per travetto tipo 10x12
luci di calcolo fino a 3,80 m.

1b per travetto tipo 10x16
luci di calcolo fino a 4,80 m.

1c per travetto tipo 10x20
luci di calcolo fino a 5,80 m.

1d per travetto tipo 12x20
luci di calcolo fino a 6,10 m.

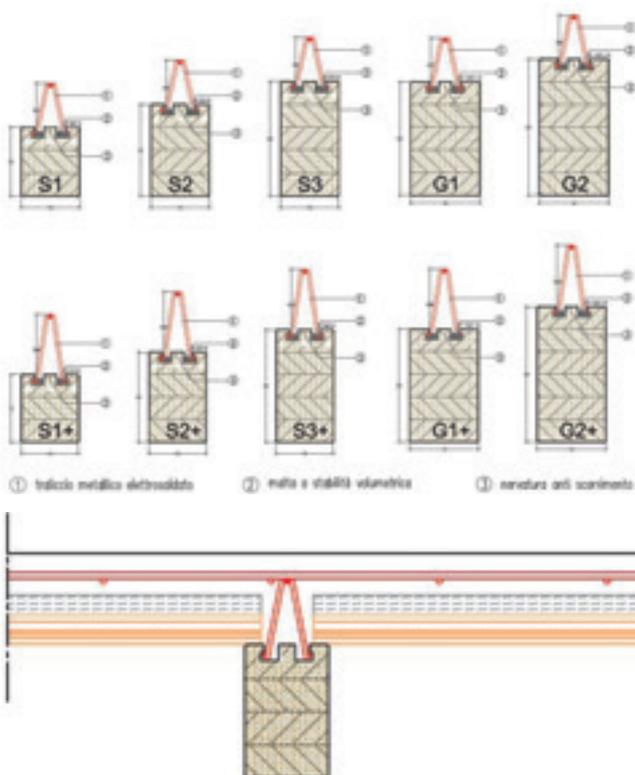
1e per travetto tipo 12x24
luci di calcolo fino a 6,40 m.



69

2TC**Solaio In legno lamellare tralicciato con alleggerimento interposto realizzato tramite tavelle in cotto a vista lisce**

Solaio misto legno-calcestruzzo composto da travetti in legno lamellare d'abete rosso fresati con risalti centrali in legno interrotti a passo costante ed armati con traliccio metallico elettrosaldato in acciaio nervato tipo B 450 C preinserito meccanicamente a pressione, protetto nei correnti inferiori con malta a stabilità volumetrica. I travetti completi sono posizionati ad interasse di 56 cm con interposta tavella in cotto a vista liscia spessore 3/4 cm. doppia cartella con incastro maschio - femmina oltre a strato isolante spessore 2/3 cm. Il solaio sarà atto a sopportare carichi permanenti di 250 daN/m² e accidentali di 200 daN/m² oltre il peso proprio. Compresa e compensata nel prezzo l'armatura di unione delle testate dei travetti alle travi, i monconi in acciaio, posizionati superiormente per nervatura, a copertura del taglio e dei momenti negativi e l'armatura di ripartizione nella soletta superiore, nonché le armature della eventuale nervatura di ripartizione trasversale, tutti in acciaio del tipo B4SOC. Compreso l'onere della posa in opera, la eventuale ulteriore puntellatura provvisoria, le casseforme e le armature di sostegno di qualunque tipo, natura, forma e specie, fino ad un'altezza di 4 m dal piano di appoggio. Compreso l'onere per i getti di solidarizzazione, in opera, con calcestruzzo di classe, (secondo UNI EN 206- 1:2006 e UNI 11104:2004), non inferiore C20/25, della soletta, superiore di spessore 5 cm, delle fasce piene e delle nervature trasversali di ripartizione. Compreso l'onere delle prove statiche e verifiche previste dalle norme vigenti in materia e quanto altro occorra per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. Per superficie misurata dai bordi interni dei cordoli o travi di appoggio dei solai. Sono esclusi gli oneri delle opere murarie, di carpenterie per l'alloggiamento delle travi, opere provvisionali, eventuali tinteggiature e trasporto.

**2TC**

1a per travetto tipo 10x12
luci di calcolo fino a 3,80 m.

1b per travetto tipo 10x16
luci di calcolo fino a 4,80 m.

1c per travetto tipo 10x20
luci di calcolo fino a 5,80 m.

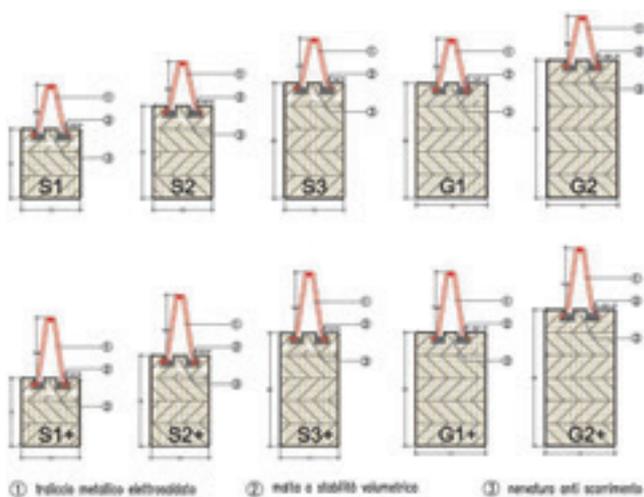
1d per travetto tipo 12x20
luci di calcolo fino a 6,10 m.

1e per travetto tipo 12x24
luci di calcolo fino a 6,40 m.

3TK**Solaio in legno lamellare tralicciato con alleggerimento interposto realizzato tramite tavelle in cotto Klinker a vista**

Solaio misto legno-calcestruzzo composto da travetti in legno lamellare d'abete rosso fresati con risalti centrali in legno interrotti a passo costante ed armati con traliccio metallico elettrosaldato in acciaio nervato tipo B 450 C preinserito meccanicamente a pressione, protetto nel correnti inferiori con malta a stabilità volumetrica, i travetti completi sono posizionati ad interasse di 56 cm con interposta tavella in cotto Klinker a vista rossa arrotata o bianca smaltata spessore 5 cm doppia cartella con incastro maschio - femmina. Il solaio sarà atto a sopportare carichi permanenti di 250 daN/m² e accidentali di 200 daN/m² oltre il peso proprio. Compresa e compensata nel prezzo l'armature di unione delle testate dei travetti alle travi, i monconi in acciaio, posizionati superiormente per nervatura, a copertura del taglio e dei momenti negativi e l'armatura di ripartizione nella soletta superiore, nonché le armature della eventuale nervatura di ripartizione trasversale, tutti in acciaio del tipo B4SOC. Compreso l'onere della posa in opera, la eventuale ulteriore puntellatura provvisoria, le casseforme e le armature di sostegno di qualunque tipo, natura, forma e specie, fino ad un'altezza di 4 m dal piano di appoggio. Compreso l'onere per i getti di solidarizzazione, in opera, con calcestruzzo di classe, (secondo UNI EN 206- 1:2006 e UNI 11104:2004), non inferiore C20/25, della soletta, superiore di spessore 5 cm, delle fasce piene e delle nervature trasversali di ripartizione. Compreso l'onere delle prove statiche e verifiche previste dalle norme vigenti in materia e quanto altro occorra per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. Per superficie misurata dai bordi interni dei cordoli o travi di appoggio dei solai. Sono esclusi gli oneri delle opere murarie, di carpenterie per l'alloggiamento delle travi, opere provvisionali, eventuali tinteggiature e trasporto.

72

**3TK**

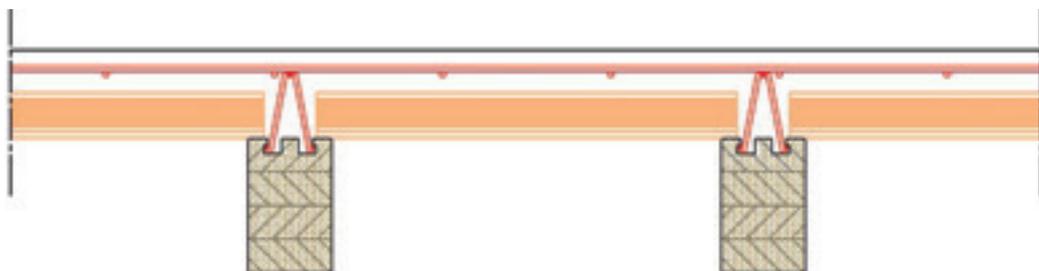
1a per travetto tipo 10x12
luci di calcolo fino a 3,80 m.

1b per travetto tipo 10x16
luci di calcolo fino a 4,80 m.

1c per travetto tipo 10x20
luci di calcolo fino a 5,80 m.

1d per travetto tipo 12x20
luci di calcolo fino a 6,10 m.

1e per travetto tipo 12x24
luci di calcolo fino a 6,40 m.

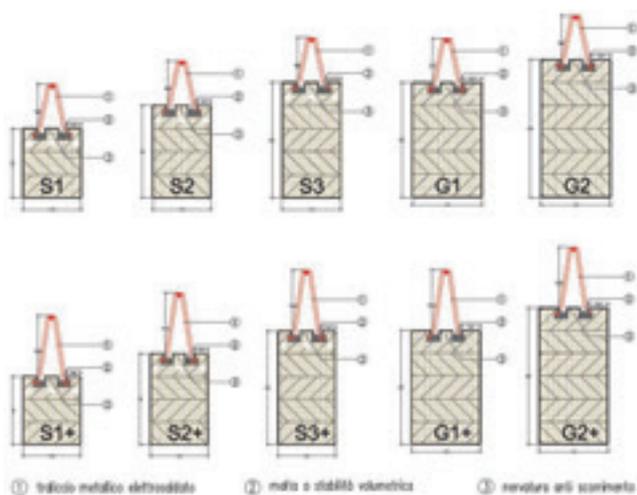


73

4PL Solaio In legno lamellare tralicciato con alleggerimento interposto realizzato tramite perlino in legno

Solaio misto legno-calcestruzzo composto da travetti in legno lamellare d'abete rosso fresati con risalti centrali in legno interrotti a passo costante ed armati con traliccio metallico elettrosaldato in acciaio nervato tipo B 450 C preinserito meccanicamente a pressione, protetto nei correnti inferiori con malta a stabilità volumetrica. I travetti completi sono posizionati ad interasse di 56/66 cm con interposti perlino in legno spessore 2 cm oltre strato isolante spessore 3 cm. Il solaio sarà atto a sopportare carichi permanenti di 250 daN/m² e accidentali di 200 daN/m² oltre il peso proprio. Compresa e compensata nel prezzo l'armatura di unione delle testate dei travetti alle travi, i monconi in acciaio, posizionati superiormente per nervatura, a copertura del taglio e dei momenti negativi e l'armatura di ripartizione nella soletta superiore, nonché le armature della eventuale nervatura di ripartizione trasversale, tutti in acciaio del tipo B4SOC. Compreso l'onere della posa in opera, la eventuale ulteriore puntellatura provvisoria, le casseforme e le armature di sostegno di qualunque tipo, natura, forma e specie, fino ad un'altezza di 4 m dal piano di appoggio. Compreso l'onere per i getti di solidarizzazione, in opera, con calcestruzzo di classe, (secondo UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004), non inferiore C20/25, della soletta, superiore di spessore 5 cm, delle fasce piene e delle nervature trasversali di ripartizione. Compreso l'onere delle prove statiche e verifiche previste dalle norme vigenti in materia e quanto altro occorra per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. Per superficie misurata dai bordi interni dei cordoli o travi di appoggio dei solai. Sono esclusi gli oneri delle opere murarie, di carpenterie per l'alloggiamento delle travi, opere provvisionali, eventuali tinteggiature e trasporto.

74



4PL

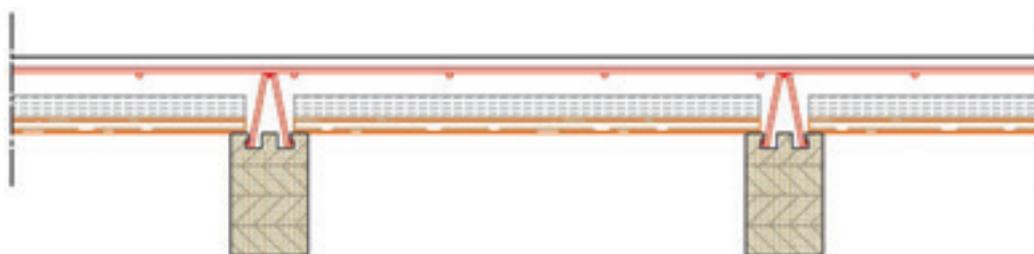
1a per travetto tipo 10x12
luci di calcolo fino a 3,80 m.

1b per travetto tipo 10x16
luci di calcolo fino a 4,80 m.

1c per travetto tipo 10x20
luci di calcolo fino a 5,80 m.

1d per travetto tipo 12x20
luci di calcolo fino a 6,10 m.

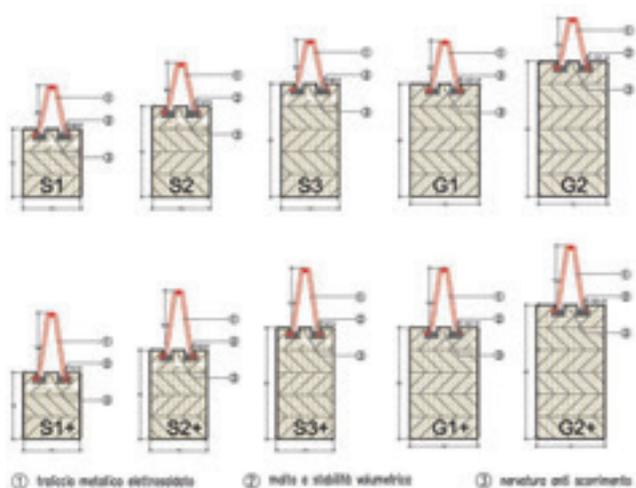
1e per travetto tipo 12x24
luci di calcolo fino a 6,40 m.



75

5VL**Solaio in legno lamellare tralicciato con alleggerimento interposto realizzato tramite volterrane in laterizio h cm 12**

Solaio misto legno-calcestruzzo composto da travetti in legno lamellare d'abete rosso fresati con risalti centrali in legno interrotti a passo costante ed armati con traliccio metallico elettrosaldato in acciaio nervato tipo B 450 C preinserito meccanicamente a pressione, protetto nel correnti inferiori con malta a stabilità volumetrica. I travetti completi sono posizionati ad interasse di 57 cm con interposte volterrane in laterizio di altezza 12 cm. Il solaio sarà atto a sopportare carichi permanenti di 250 daN/m² e accidentali di 200 daN/m² oltre il peso proprio. Compresa e compensata nel prezzo le armature di unione delle testate dei travetti alle travi, i monconi in acciaio, posizionati superiormente per nervatura, a copertura del taglio e dei momenti negativi e l'armatura di ripartizione nella soletta superiore, nonché le armature della eventuale nervatura di ripartizione trasversale, tutti in acciaio del tipo B4SOC. Compreso l'onere della posa in opera, la eventuale ulteriore puntellatura provvisoria, le casseforme e le armature di sostegno di qualunque tipo, natura, forma e specie, fino ad un'altezza di 4 m dal piano di appoggio. Compreso l'onere per i getti di solidarizzazione, in opera, con calcestruzzo di classe, (secondo UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004), non inferiore C20/25, della soletta, superiore di spessore 5 cm, delle fasce piene e delle nervature trasversali di ripartizione. Compreso l'onere delle prove statiche e verifiche previste dalle norme vigenti in materia e quanto altro occorra per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. Per superficie misurata dai bordi interni dei cordoli o travi di appoggio dei solai. Sono esclusi gli oneri delle opere murarie, di carpenterie per l'alloggiamento delle travi, opere provvisionali, eventuali tinteggiature e trasporto.

**5VL**

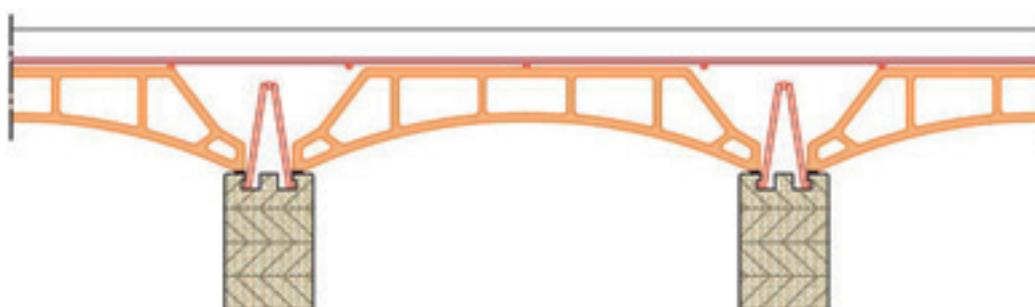
1a per travetto tipo 10x12
luci di calcolo fino a 3,80 m.

1b per travetto tipo 10x16
luci di calcolo fino a 4,80 m.

1c per travetto tipo 10x20
luci di calcolo fino a 5,80 m.

1d per travetto tipo 12x20
luci di calcolo fino a 6,10 m.

1e per travetto tipo 12x24
luci di calcolo fino a 6,40 m.



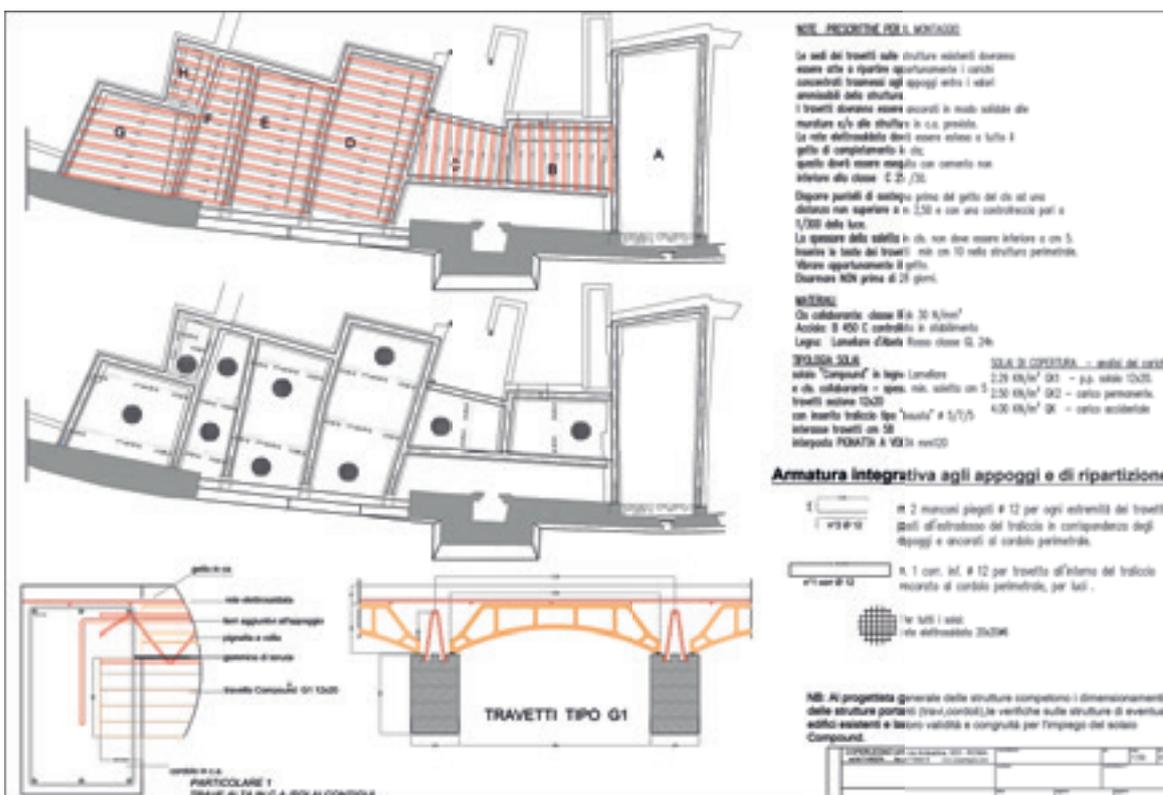
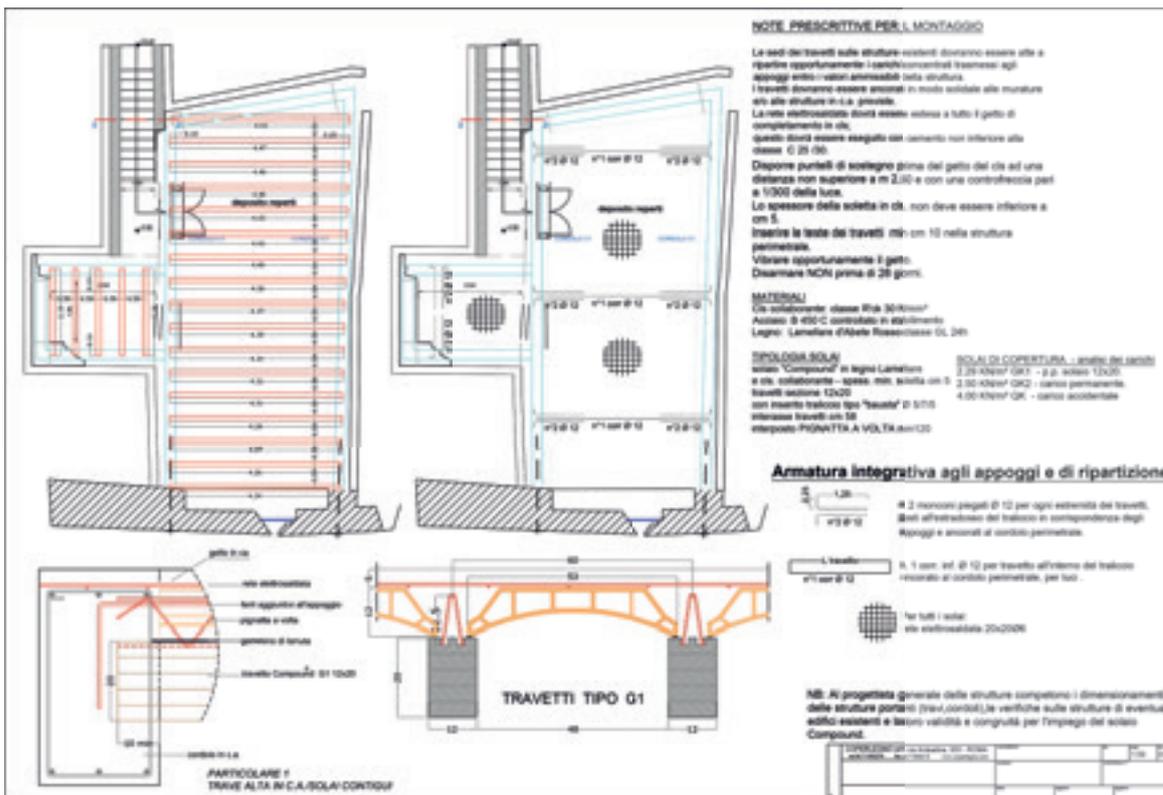
3.

Le Realizzazioni

Elaborati ed immagini

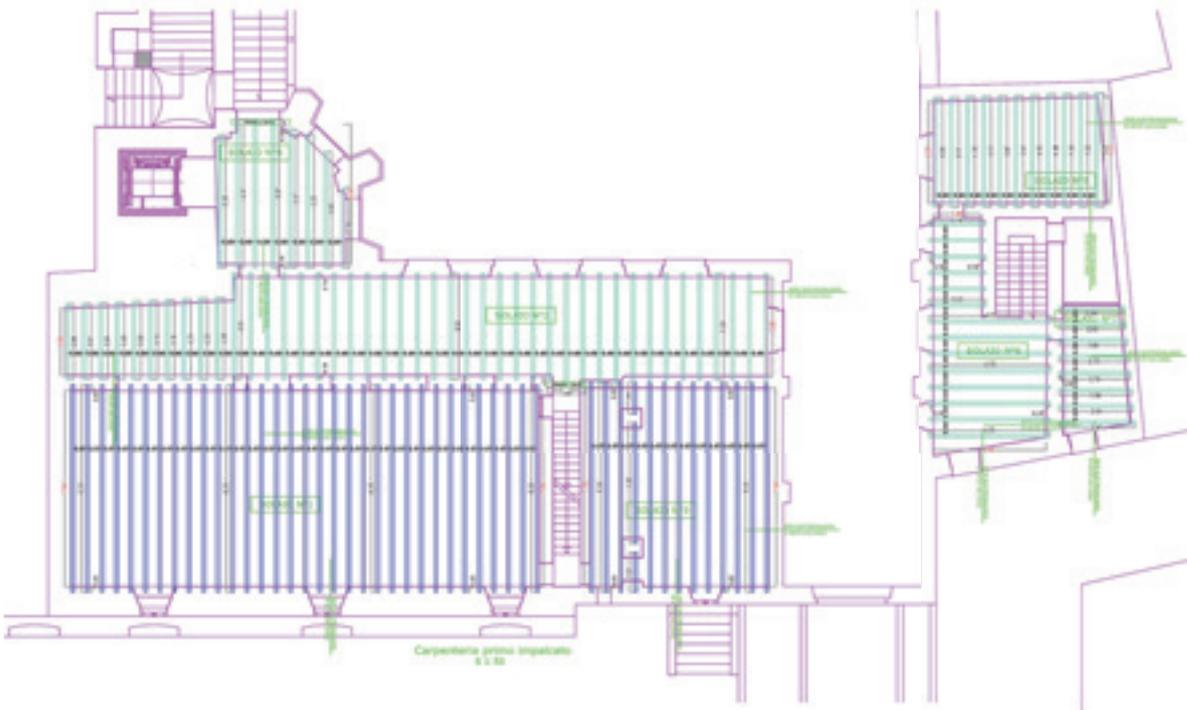


Solai di calpestio su muratura portante
Castello Montecchio Vesponi





**Solai di calpestio su muratura portante
Castello Fieramosca Caianello**



NOTE PRESCRITTE PER IL MONTAGGIO

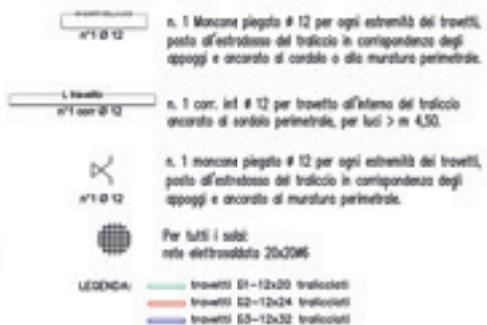
Le sedi dei travetti sulle strutture esistenti dovranno essere fatte o riparare opportunamente i carichi ammessi basandosi agli appoggi entro i valori ammissibili della struttura.
 I travetti dovranno essere ancorati in modo solido alle muraure e/o alle strutture in c.a. previste.
 La rete elettrosaldata dovrà essere estesa a tutto il getto di completamento in cls; questo dovrà essere eseguito con cemento non inferiore alla classe C 25 /30.
 Disporre puntelli di sostegno prima del getto del cls ad una distanza non superiore a m. 2,50 e con una controfrecce pari a 1/300 della luce.
 Lo spessore dello soletto in cls. non deve essere inferiore a cm 5.
 Inserire le teste dei travetti min. cm 10 nella struttura perimetrale.
 Vibrare opportunamente il getto.
 Disarmare MON prima di 28 giorni.

MATERIALI
 Da collaborare: classe R/cik 30 N/mm²
 Acciaio: B 450 C controllato in stabilimento
 Legno: Lamellare d'Abete Rosso classe Q, 24h

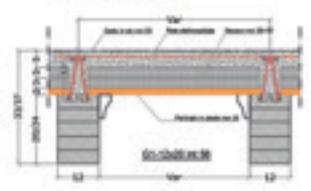
TECNOLOGIA SOLAI
 soletto "Compound" in legno Lamellare e cls. collaborante - spess. min. soletto cm 5
 travetti sezione 12x20-12x24-12x32
 con inserto traliccio tipo "baute" # 5/7/5
 interasse travetti cm 57/66
 interposto PERLINATO IN ABETE mm20+
 PANNELLO ISOLANTE mm30+30

SOLAI DI CALCESTRUZZO - analisi dei carichi
 1.80 KN/m² G_k -
 2.00 KN/m² G_k - carico permanente.
 4.00 KN/m² Q_k - carico accidentale.
 Resistenza al fuoco 60 min.

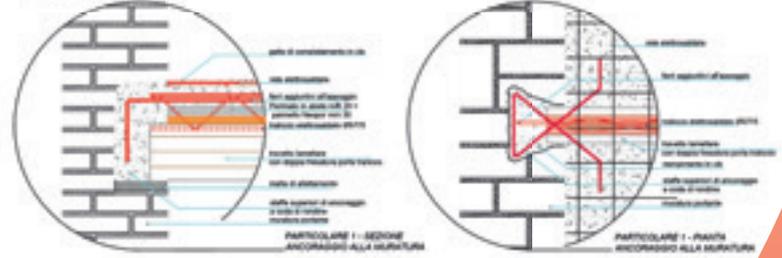
ARMATURA INTEGRATIVA AGLI AGLI APPOGGI



SEZIONE SOLAIO REI 60

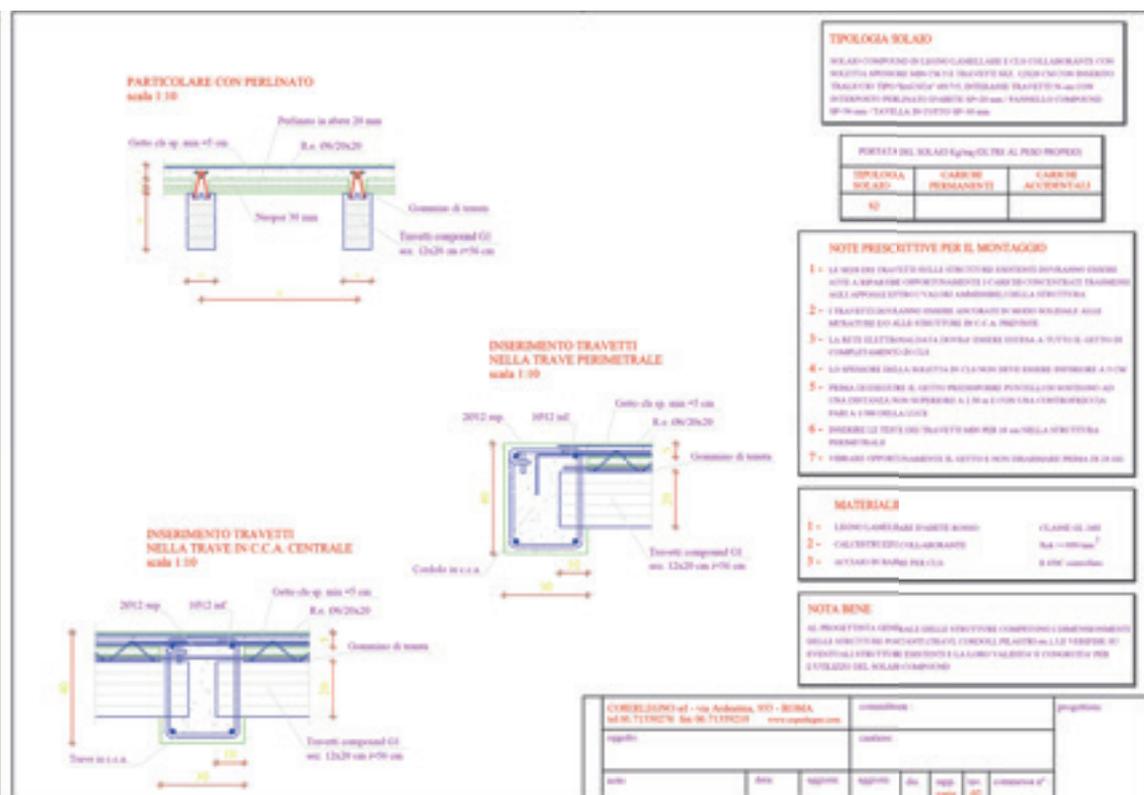
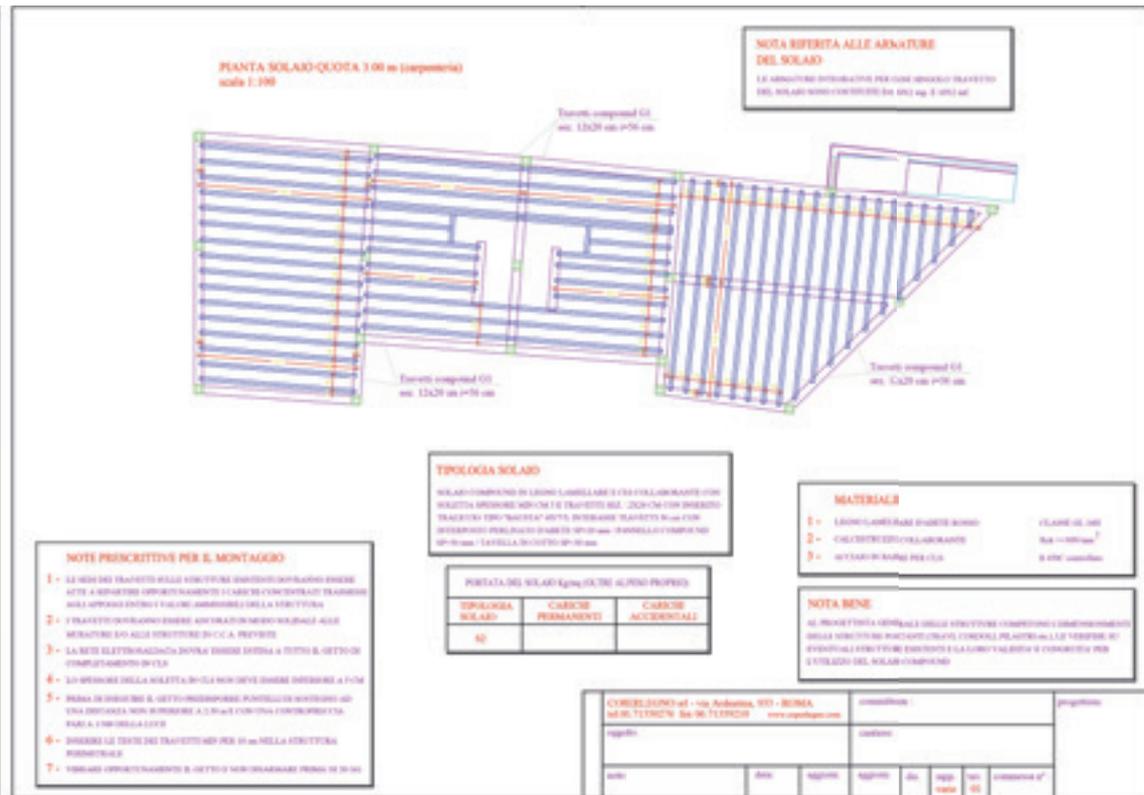


ANCORAGGIO DEI TRAVETTI NELLA MURATURA PERIMETRALE PARTICOLARE INDICATIVO



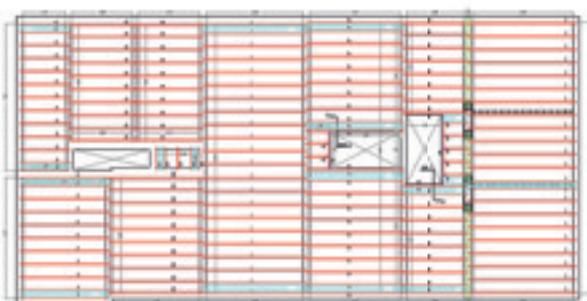


Solai di calpestio su muratura portante
Siurgus Donigala





Solai di calpestio su muratura portante
Villa Tirelli Carpi



Impianto sotto piano primo (quota +1,85/+1,25)
SCHEMA DI DISTRIBUZIONE DEI TRAVETTI e FANELLLO COMPOUND

NOTE PRESCRITTE PER IL MONTAGGIO

Le sedi dei travetti sulle strutture esistenti dovranno essere alle e ripartite opportunamente i carichi consentiti tranne agli appoggi sulle i viti avvitabili alla struttura perimetrale. I travetti dovranno essere ancorati in modo stabile alle murature c/a alle strutture in c.a. previste. La rete elettrosaldata dovrà essere estesa a tutto il getto di completamento in c/a, questo dovrà essere eseguito con cemento non inferiore alla classe C25/30.

Dipinge parti di sostegno prima del getto del c/a ad una distanza non superiore a m. 2,00 e con una controfessura pari a 1/500 della luce. Lo spessore della soletta in c/a, non deve essere inferiore a cm 5. Inerte la base dei travetti nei punti sulle strutture perimetrali. Ripare opportunamente il getto. Dimensione N30 prima di 28 giorni.

TECNOLOGIA SCALA

solito "Compound" in legno Lamellare e c.a. collaborante - spessore min. adotto cm 5

travetti sezione 10x20 con inserto traliccio tipo "travetti" n° 1/1/1/5 interasse travetti cm 55

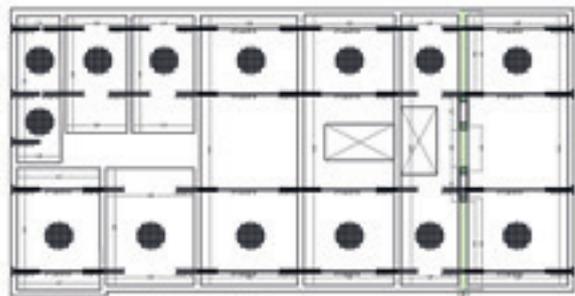
pannello FANELLLO COMPOUND cm 54

MISURE

C/a collaborante, classe C25/30
Acciaio: Ø 400 C controllato in stabilimento
Legno: Lamellare d'Abete Rosso classe GL24

Armatura integrativa agli appoggi e di ripartizione

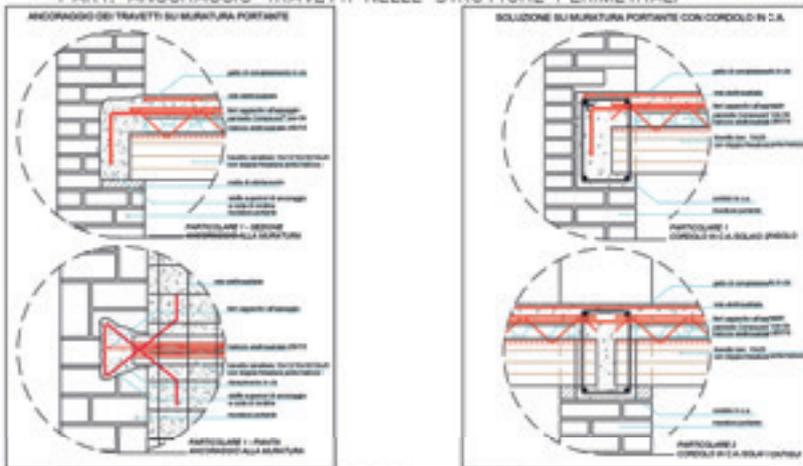
-  n. 2 barre a gancio Ø 12 per ogni estremità dei travetti, posti all'estremità del traliccio in corrispondenza degli appoggi e ancorati alle strutture perimetrali.
-  n. 2 barre passanti Ø 12 per ogni estremità dei travetti corti posti all'estremità del traliccio in corrispondenza delle strutture perimetrali.
-  n. 1 con. Ø4, n° 14 per travetto d'esterno del traliccio ancorato al corpo perimetrale, per luci nette > m. 4,50.
-  Per tutti i viti rete elettrosaldata 20x20



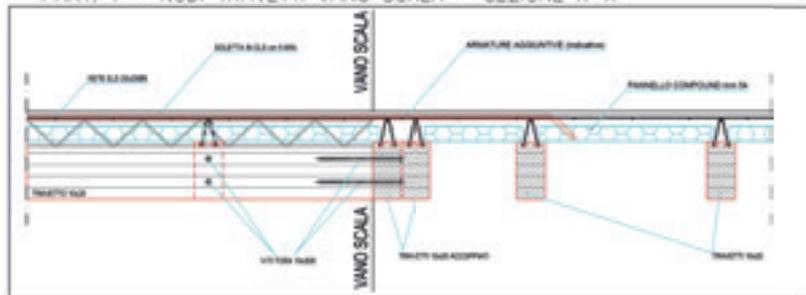
Impianto sotto piano primo (quota +1,85/+1,25)
SCHEMA DELLE ARMATURE ASSISTIVE

COMPILAZIONE DI: ING. ANTONIO BILI - ROMA	PROGETTO: ...	DATA: ...
VERIFICA:
...

PART. ANCORAGGIO TRAVETTI NELLE STRUTTURE PERIMETRALI



PART. 1 - NODI TRAVETTI VANO SCALA - SEZIONE X-X



COMPILAZIONE DI: ING. ANTONIO BILI - ROMA	PROGETTO: ...	DATA: ...
VERIFICA:
...



**Solai di calpestio su muratura portante
Benevento**



**Solai di calpestio su telaio in c.a.
Terni**



**Solai di calpestio su telaio in c.a.
Bologna**

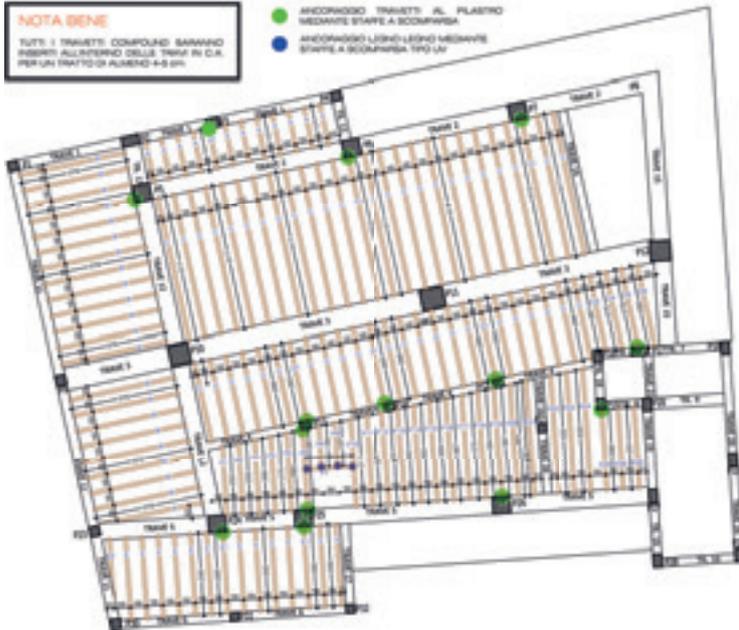
IMPALCATO PIANO PRIMO - 1/50

Solette Composite con travetti in legno lamellare 15x20 - 1+30 cm (travetti plus 10-12,5 cm e travetti sp. 2,8 cm)

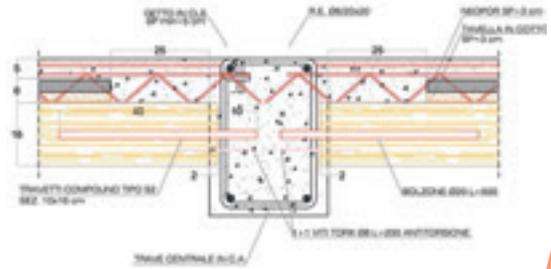
NOTA BENE

TUTTI I TRAVETTI COMPOSITE SARANNO FISSATI ALL'INTERNO DELLE TRAVI IN C.A. PER UN TRATTO DI ALMENO 4-5 cm.

- ANCORAGGIO TRAVETTI AL PIASTRO MEDIANTE STAFFE A SCOMPARSA
- ANCORAGGIO LEGNO-LEGNO MEDIANTE STAFFE A SCOMPARSA TIPO LU



COLLEGAMENTO TRAVETTI CON TRAVE CENTRALE IN C.A.



IMPALCATO PIANO SECONDO - 1/50

Solette Composite con travetti in legno lamellare 15x20 - 1+30 cm (travetti plus 10-12,5 cm e travetti sp. 2,8 cm)

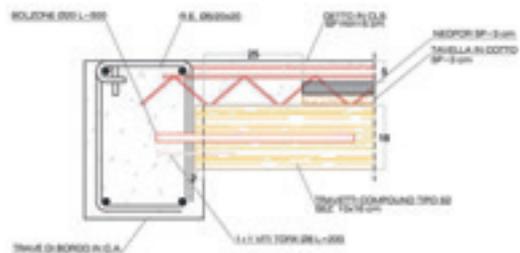
NOTA BENE

TUTTI I TRAVETTI COMPOSITE SARANNO FISSATI ALL'INTERNO DELLE TRAVI IN C.A. PER UN TRATTO DI ALMENO 4-5 cm.

- ANCORAGGIO TRAVETTI AL PIASTRO MEDIANTE STAFFE A SCOMPARSA
- ANCORAGGIO LEGNO-LEGNO MEDIANTE STAFFE A SCOMPARSA TIPO LU

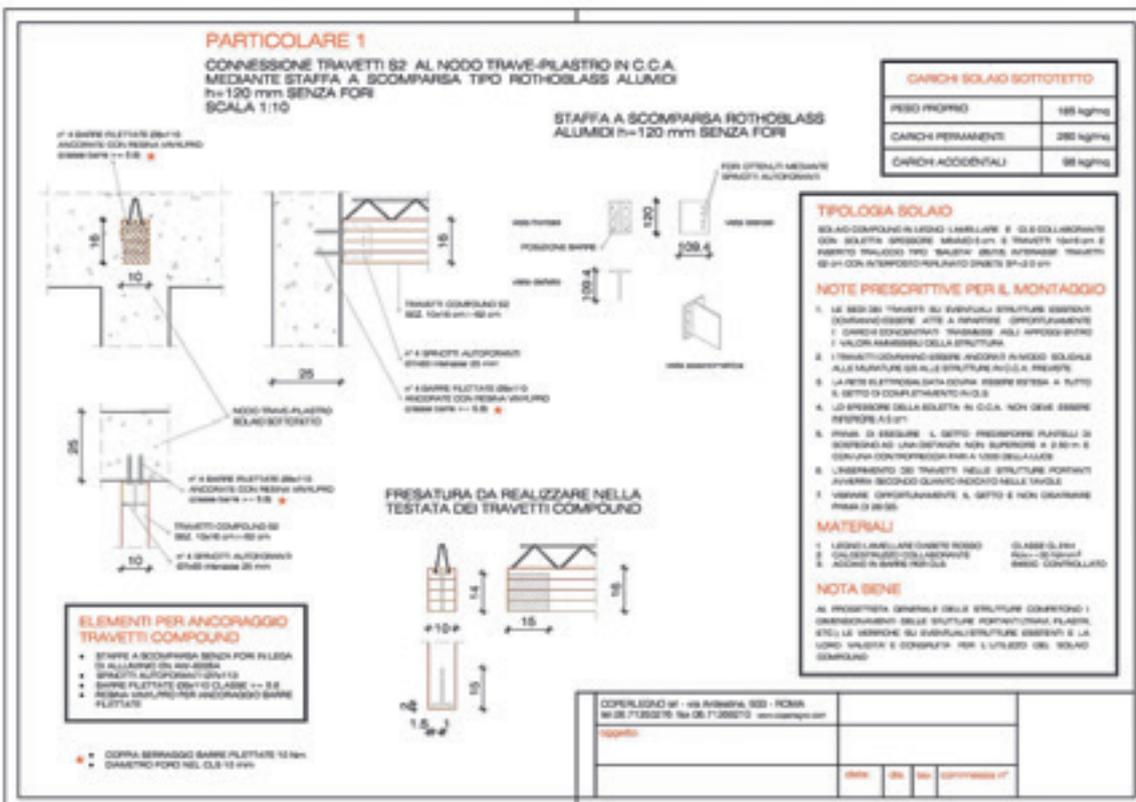
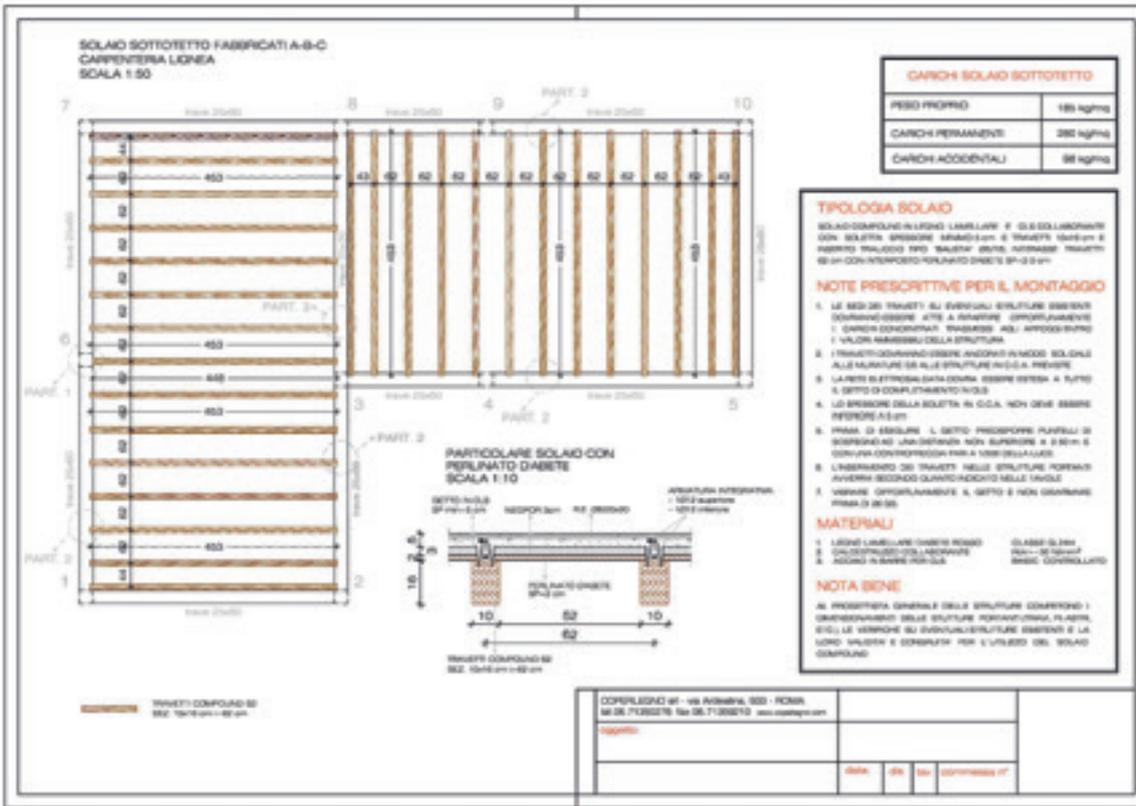


COLLEGAMENTO TRAVETTI CON TRAVE DI BORDO IN C.A.





Solai di calpestio su telaio in c.a.
Grosseto



PARTICOLARE 2

INSERIMENTO TRAVETTI COMPOUND NELLE TRAVI 25x40 cm IN C.C.A. SCALA 1:10

PARTICOLARE 3

INSERIMENTO TRAVETTI COMPOUND NELLE TRAVI 25x35 cm IN C.C.A. SCALA 1:10

PARTICOLARE BARRA D16 INSERITA NELLA TESTATA DI UN TRAVETTO COMPOUND SCALA 1:10

CARGHI SOLOIO SOTTOTETTO	
PESO PROPRIO	180 kg/m ²
CARGHI PERMANENTI	280 kg/m ²
CARGHI ACCIDENTALI	80 kg/m ²

TIPOLOGIA SOLOIO

SOLOIO COMPONE IN LEGNO LAMELLARE E GLI SOLLAMENTI CON SCALTA PRESSO MEMBRI IN TRAVETTI COMPOUND E ARMATO TRALICCI PER SALVARE SPESA. ARMAGGIO TRAVETTI 8/10 cm CON ANCORAGGIO IN ALTEZZA 10/12 cm.

NOTE PRESCRITTIVE PER IL MONTAGGIO

1. LE BARRI TRAVETTI SU SOSTACCI STRUTTURE DEBBERO DOPO IL MONTAGGIO VERIFICARE IL MONTAGGIO CORRETTO ATTRAVERSO IL CONTROLLO VISIVO E IL CONTROLLO CON I VALORI MASSIMI DELLA STRUTTURA.
2. I TRAVETTI COMPOUND DEBBERO ANCORARE IN BASSO SOLIDALE ALLE ARMATURE DI ALTEZZA STRUTTURE IN C.C.A. PRELIEVE.
3. LA RETE ELETTROCALDA DA COCCIA DEBBERO VERIFICA A TUTTO IL GETTO DI COMPLETAMENTO IN CALCE.
4. LO SPACCO DELLA SCALTA IN C.C.A. NON DEVE ESSERE SUPERIORE A 10 cm.
5. PRIMA DI ESeguire IL GETTO PREPARARE PUNTELLI DI SOSTEGNO AD UNA DISTANZA NON SUPERIORE A 2,50 m E OBBLIGO DI COMPRESO PER IL TRASFERIMENTO.
6. L'INSERIMENTO DEI TRAVETTI NELLE STRUTTURE PORTANTI AVVERrà SECONDO QUANTIFICATO NELLE TAVOLE.
7. VERIFICARE IL MONTAGGIO E IL GETTO E NON DIMENTICARE PER IL 20-30.

MATERIALI

1. LEGNO LAMELLARE SABBIO ROSSO	CLASSI C 24
2. CALCE COMPRESO CON L'ARMAGGIO	ALC. 10/12 cm
3. BARRI IN ACCIAIO	ARMAGGIO CONTROLLATO

NOTA BENE

AL RECEPIMENTO GENERALE DELLE STRUTTURE COMPOSITE I DIMENSIONI DELLE STRUTTURE PORTANTI COMPOUND, VERIFICARE LE DIMENSIONI SU DIMENSIONI STRUTTURE ESISTENTI E LA LORO VALIDITÀ E CONGRUITÀ PER L'UTILIZZO DEL SOLOIO COMPOUND.

COMPAGNIA DI - via Roma 100 - ROMA
tel. 06 71362115 fax 06 71362113 www.compagnia.com

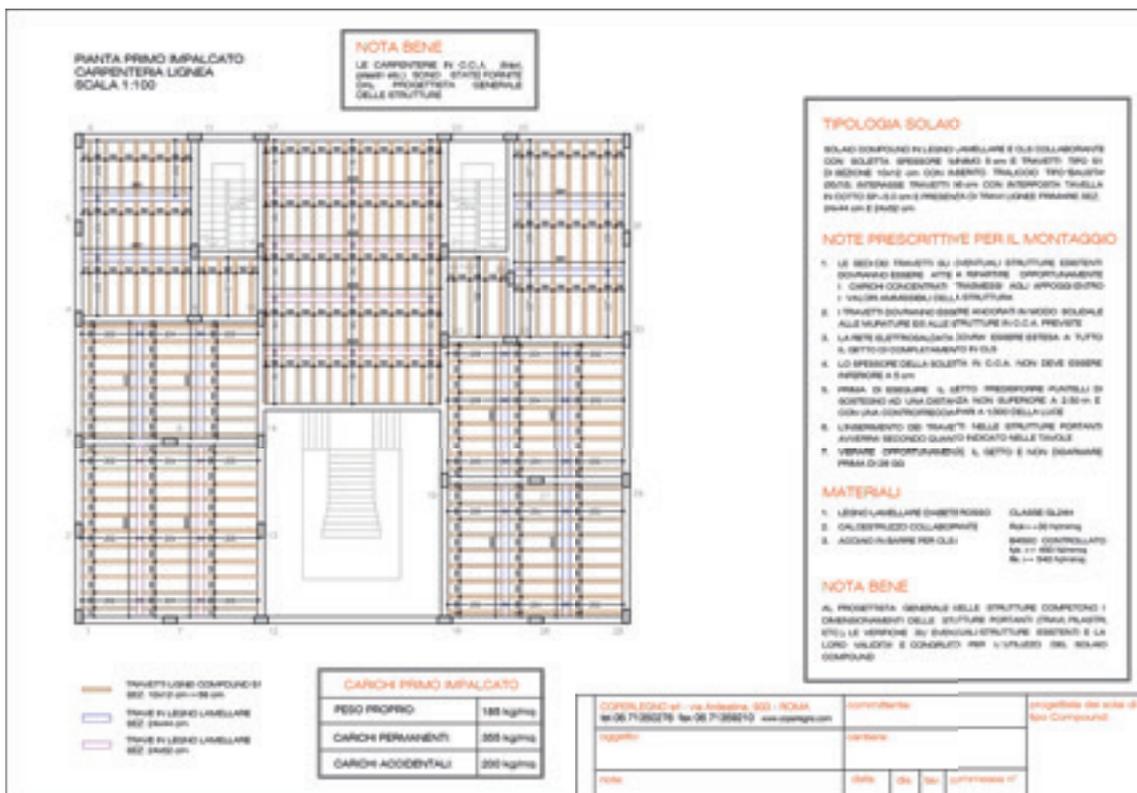
Progetto:

DATA	ORA	SIT.	AUT.	CONT.	PROV.
------	-----	------	------	-------	-------



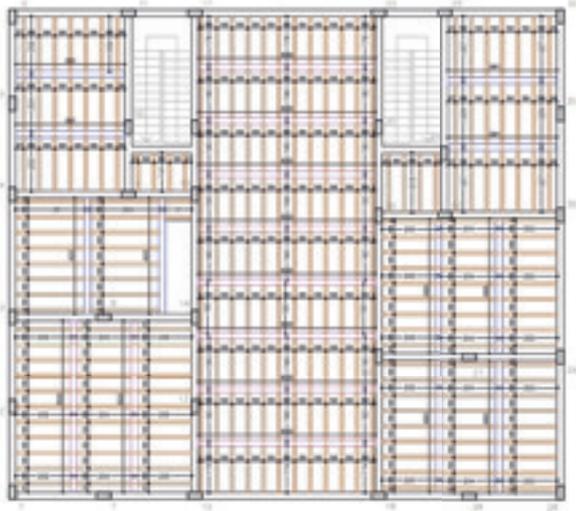


Solai di calpestio su telaio in legno Modena



PANTA SECONDO IMPALGATO
CARPENTERIA LIGNEA
SCALA 1/100

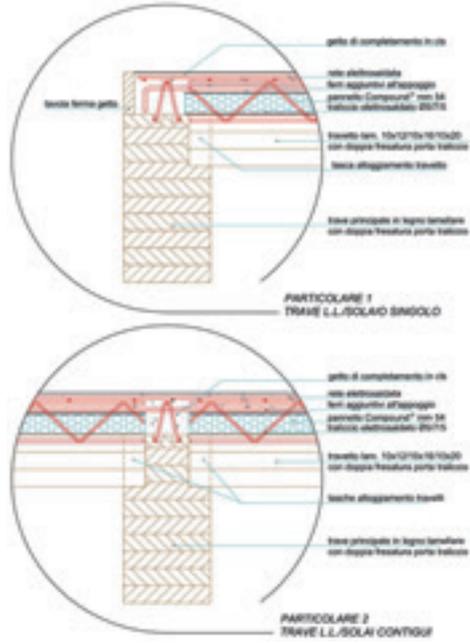
NOTA BENE
LE CARPENTERIE IN C.I.A. SONO
PRODOTTE IN UNO DEI SEI STATI FANTASIA
SOTTO PROGETTISTA GENERALE
DELLE STRUTTURE



- TRAVI LAME COMPOSITE SEI 15x17 cm - 36 cm
- TRAVE IN LEGNO LAMELLARE SEI 25x33 cm
- TRAVE IN LEGNO LAMELLARE SEI 25x32 cm

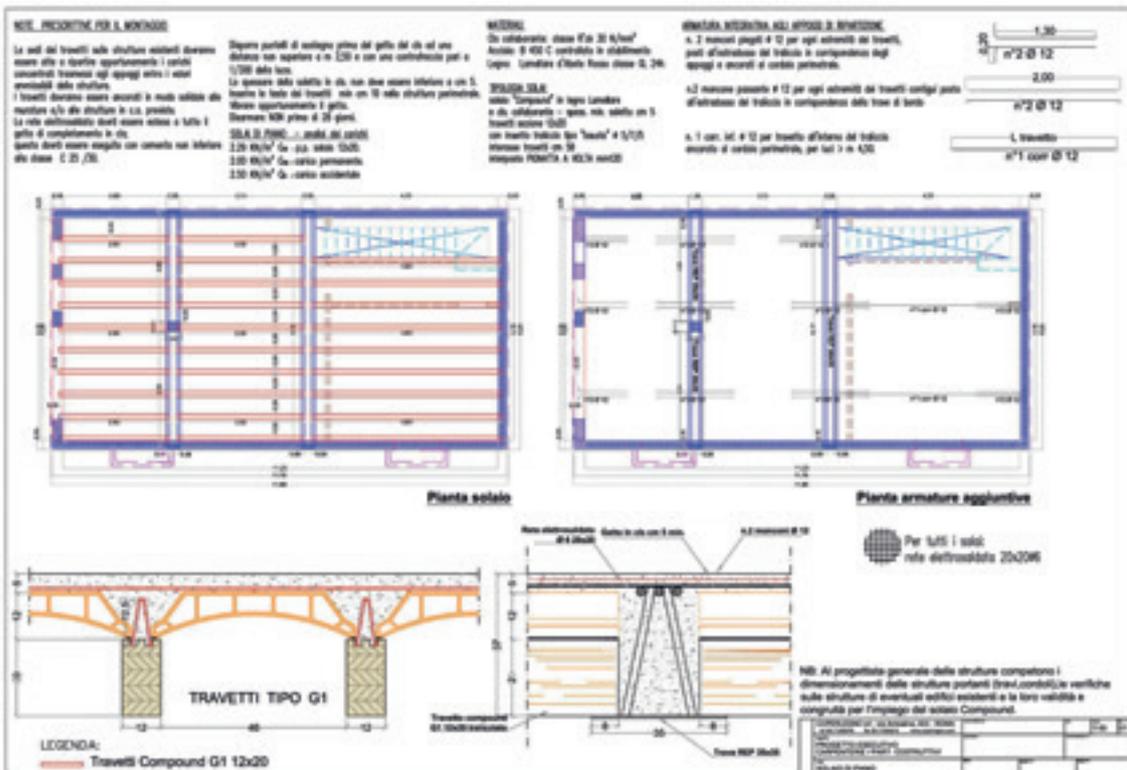
CARCHI PRIMO IMPALGATO	
PESO PROPRIO:	165 kg/m ²
CARCHI PERMANENTI:	305 kg/m ²
CARCHI ACCIDENTALI:	200 kg/m ²

SOLUZIONE SU STRUTTURA IN LEGNO LAMELLARE TRALICCIO





Solai di calpestio su trave REP Bologna





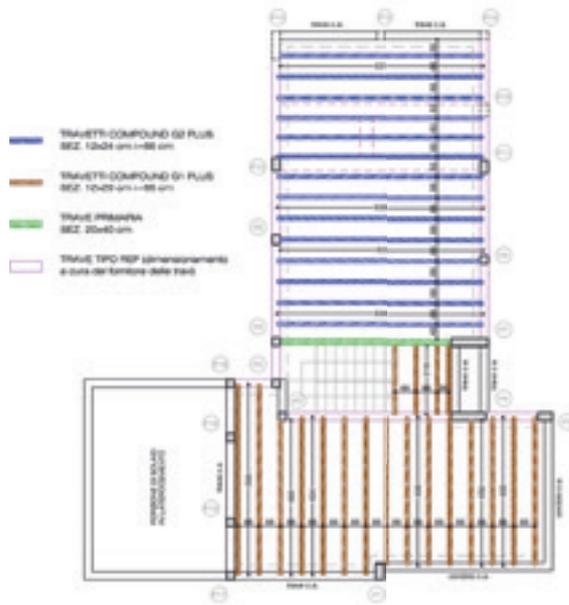
118



Solai di calpestio su trave REP
Rovigo

119

PIANTA SOLAIO PIANO PRIMO
CARPENTERIA LINEA
SCALA 1:50

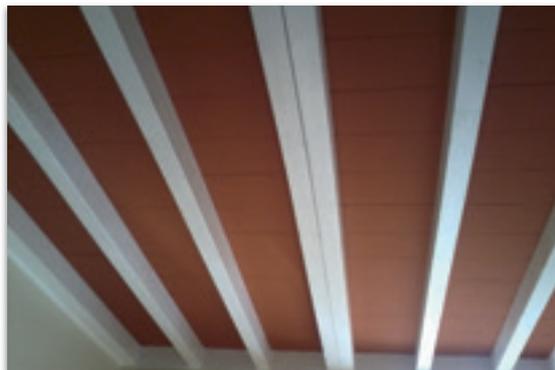


CONNESSIONE TRAVETTI COMPOUND-PILASTRI

- staffe ALLMAG 15-200 su pilastri PG-PG-P12
- staffe ALLMAG 15-100 su pilastri PG-P4

CONNESSIONE TRAVE PRIMARIA-PILASTRI

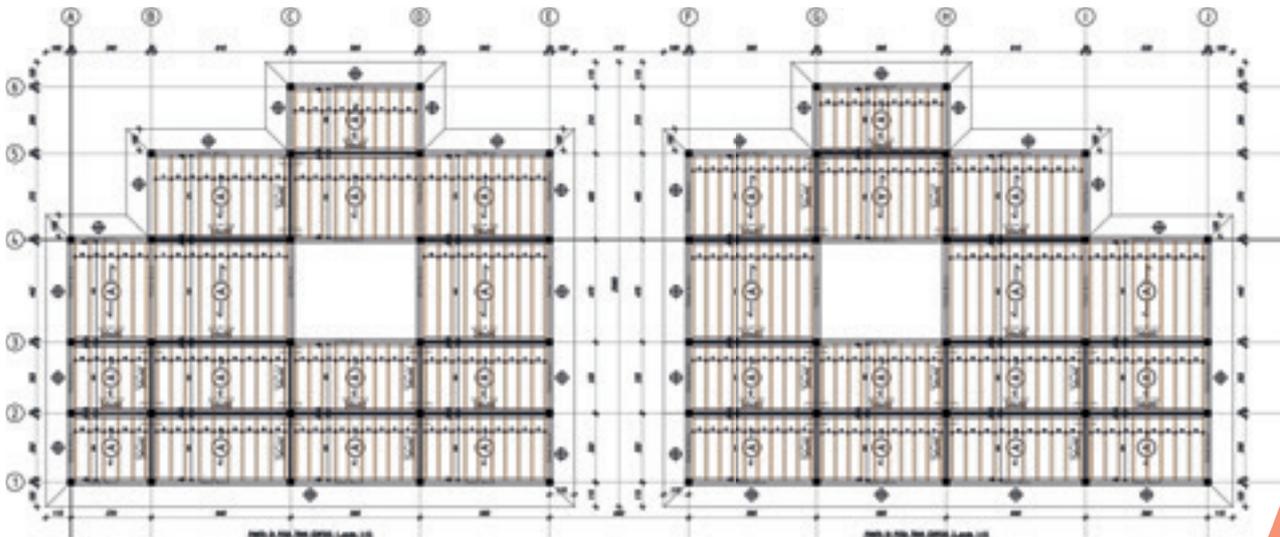
- staffe ALLMAG 15-300 su pilastri PG-P7





Solai di calpestio su trave REP Piacenza

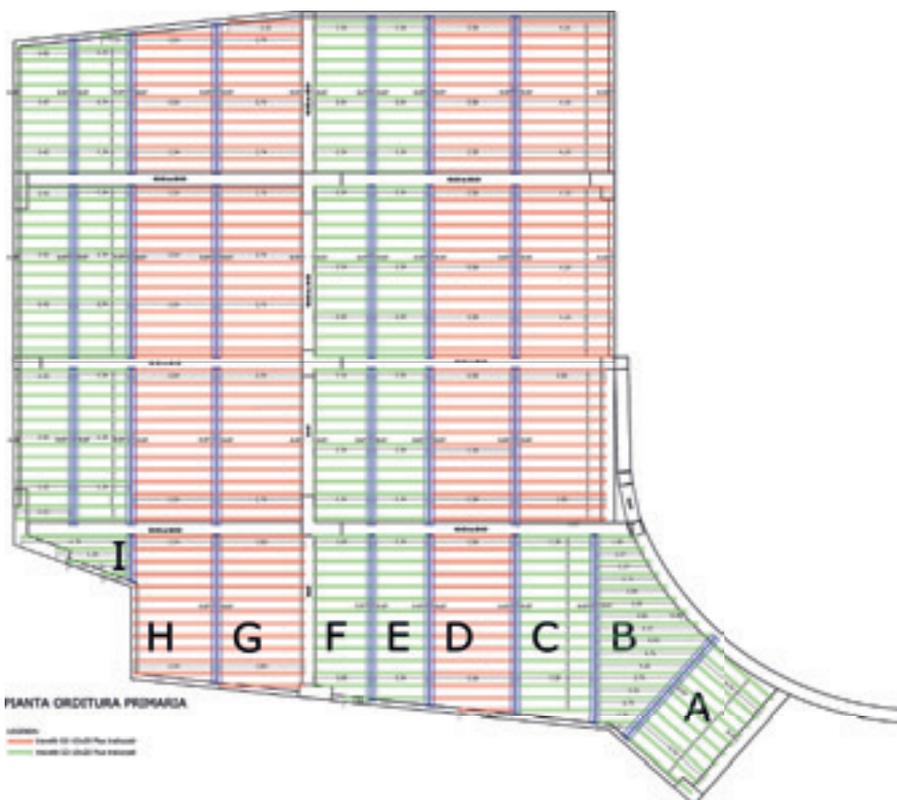
122



123



Solai di calpestio su trave REP
Roma





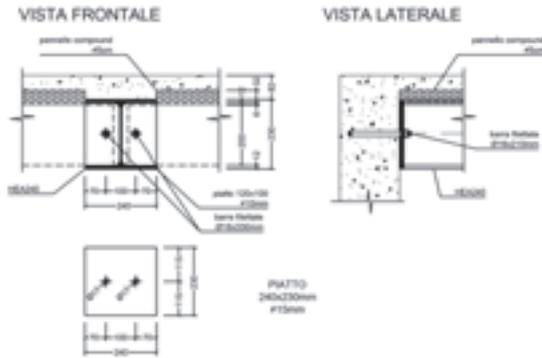
Solai di calpestio su HEA
Roma



**Solai di calpestio su HEA
Savona**

DETTAGLIO I:
nodo trave HEA240

scala 1:10

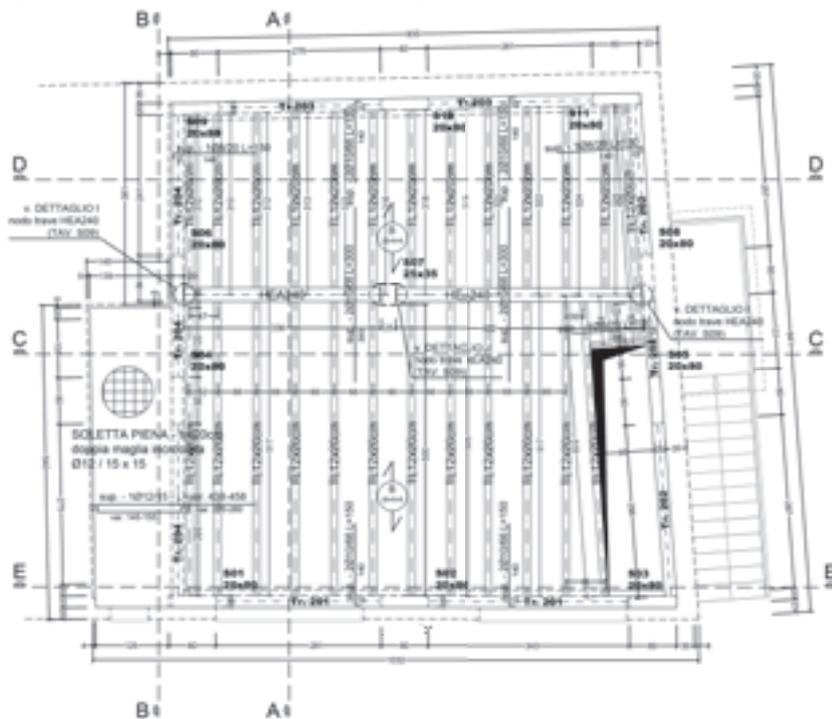


DETTAGLIO J:
nodo trave HEA240

scala 1:10



CARPENTERIA SOLAIO SOTTOTETTO
Scala 1:50





Solai di copertura su muratura portante Cefalù

NOTE PRECISIVE PER IL MONTAGGIO

Le reti dei travetti sulle strutture esistenti dovranno essere alle e rigirate opportunamente i calchi ancorati tramite gli appoggi entro i calchi esistenti della struttura.

I travetti dovranno essere ancorati in modo stabile alla muratura o/ò alle strutture in c.a. previste.

La rete elettrosaldata dovrà essere saldata o fatto il getto di completamento in c/c.

Questo dovrà essere eseguito con cemento non inferiore alla classe C 25 /30.

Dopo i puntelli di sostegno prima del getto del c/c ad una distanza non superiore a m. 1,50 e con una controchiodo pari a 1/300 della luce.

La spessore della soletta in c/c non deve essere inferiore a cm. 5.

Stivere le teste dei travetti solo con 18 nella struttura perimetrale.

Stivere opportunamente il getto.

Dimensione NCR prima di 25 giorni.

SPELLOGA SOLAI

solito "Compound" in legno Lamellare e c/c collaborante - spesse min. saldato con 5.

Travetti sezione 12x20 con inserto traliccio tipo "Savuta" e 5/10/5.

Interrasse travetti con 18.

Pannello compound min 14.

MATERIALI

C/c collaborante: classe f/c/c 30 N/100

Acciaio: R 400 C controllato in stabilimento.

Legno: Lamellare d'Abete Rosso classe C, 24e.

SOLAI DI PIANO ... metri da parete	COPERTURA ... metri da parete
1,50 N/100 f/c/c rete 12x20	1,50 N/100 f/c/c rete 12x20
2,50 N/100 f/c/c rete permanente	1,00 N/100 f/c/c rete permanente
3,00 N/100 f/c/c rete esistente	1,00 N/100 f/c/c rete esistente

Armatura integrativa agli appoggi e di ripartizione

1. 2 barre passanti R 12 per ogni travetto del travetto, posti d'intervento del travetto in corrispondenza degli appoggi e ancorati di solito permanente.

2. 1 cm. di c/c per travetti esistenti del travetto esistente di solito permanente.

Per tutti i casi rete elettrosaldata 20x20.

NB: In progetto generale della struttura comparsa - dimensionamenti della struttura peraltro deve essere in armonia con la struttura di controllo ed il sistema a tre vie - e deve essere congrua per l'impiego del sistema Compound.

COMPONENTI PERI PERI COSTRUTTA			
SOLAI/TELECOMUNICAZIONE			

LEGENDE:
— travetti Compound 21-12x20



Solai di copertura su telaio in c.a.
Piacenza

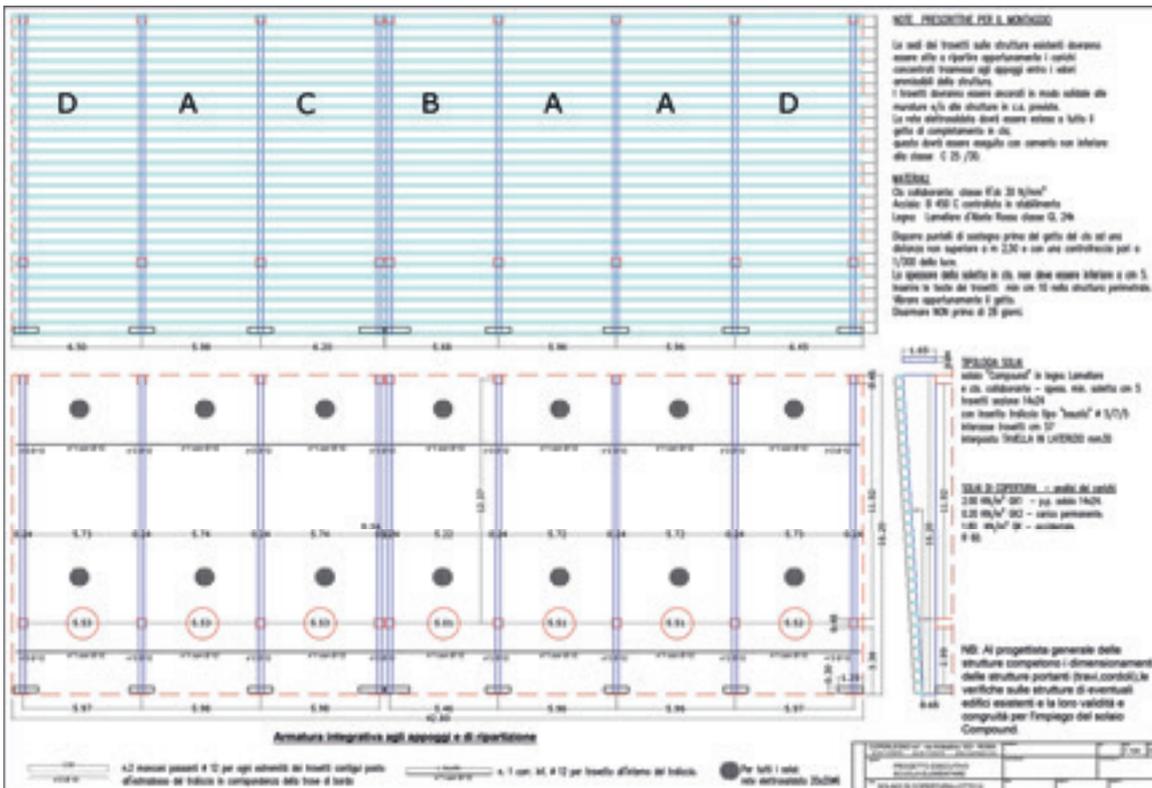


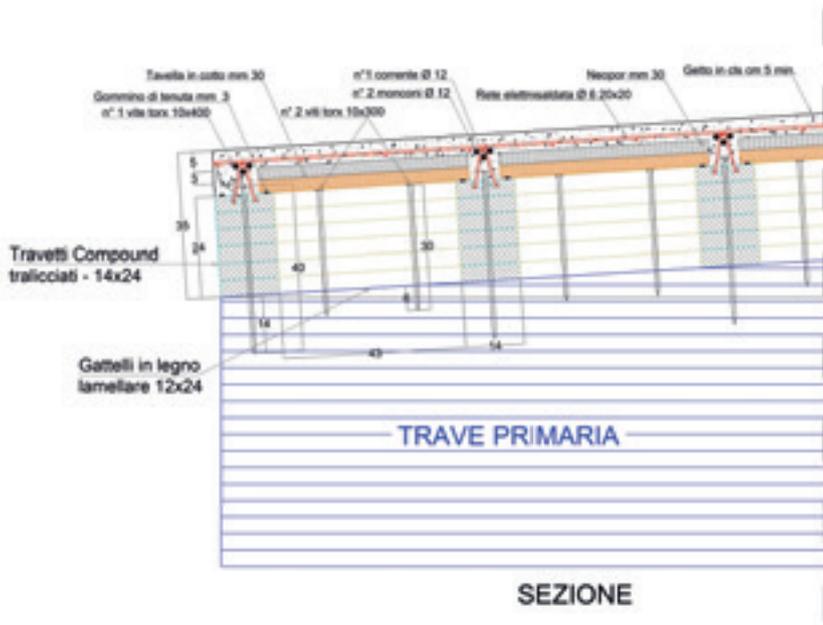
Solai di copertura su telaio in legno
Ferrara



Solai di copertura su telaio in legno

Piacenza





COPERLEGNO srl - via Ardeatina, 933 - ROMA		Scale	1:50	01
tel. 06.7139076 fax 06.7139070 www.coperlegno.com				
PROGETTO ESECUTIVO SCUOLA ELEMENTARE				





Il Solaio Compound è un prodotto brevettato,



realizzato presso lo stabilimento della Coperlegno S.r.l. di Roma



e distribuito dalla Latercompound S.r.l. di Bologna

Divisione Solai Nord

Via Verdi 19 - 40067 Rastignano (BO)
Tel.: 051.744679
info@latercompound.it

Divisione Solai Centro Sud

Via Ardeatina 933 - 00178 Roma
Tel.: 06.71354201
info@coperlegno.it

**Rifondare lo
Stile Laterizio**

