

Perché connettere? Quali sono i vantaggi della connessione fra materiali diversi?

La realizzazione di una soletta di calcestruzzo armato al di sopra di un solaio di legno dà i seguenti vantaggi:

- ripartisce i carichi fra le diverse travi;
- se efficacemente connessa alle murature perimetrali aumenta la rigidità nel piano del solaio nei confronti delle azioni sismiche e contribuisce al corretto "comportamento scatolare" degli edifici;
- aumenta l'isolamento acustico;
- nei solai antichi generalmente non è un aumento di carico in quanto sostituisce la caldana di materiale incoerente spesso presente;
- costituisce piano di posa solido per la posa del pavimento.

Se la soletta viene efficacemente connessa alle sottostanti travi di legno generalmente si ha un raddoppio della portata del solaio, a parità di tensioni nel legno, ed una drastica riduzione della freccia di inflessione.

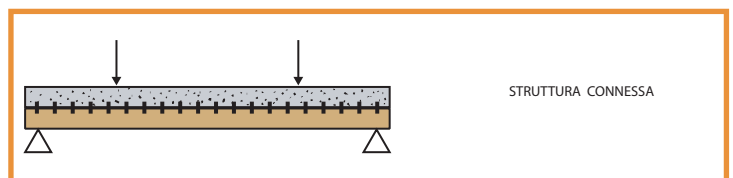
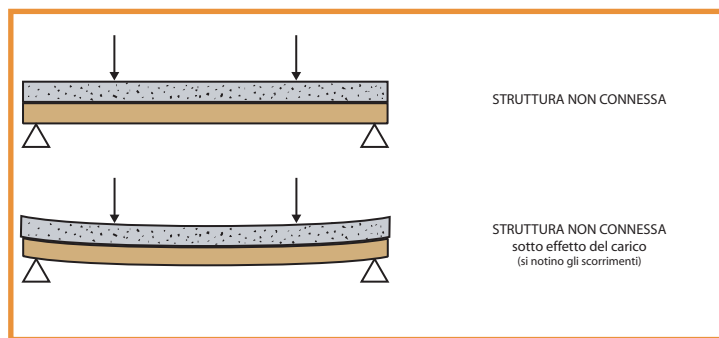
Questo perché la connessione consente lo scambio delle tensioni di taglio fra legno e calcestruzzo facendo collaborare meccanicamente la soletta con le travi di legno, collaborazione che non c'è se la connessione è inadeguata o assente.

Il sistema misto legno-calcestruzzo deriva dal sistema acciaio-calcestruzzo utilizzato nelle costruzioni dei ponti; i primi ponti costruiti con travi di acciaio e soletta di calcestruzzo venivano calcolati come se a lavorare fossero solo le travi di acciaio, durante le prove di carico venivano osservate frecce nettamente più basse rispetto a quelle teoriche, cosicché è stata ipotizzata la collaborazione meccanica fra soletta e sottostanti travi di acciaio.

Nelle strutture metalliche lo scambio delle tensioni di taglio fra acciaio e calcestruzzo avveniva per aderenza, ma con le sollecitazioni dinamiche l'aderenza tendeva a ridursi in quanto la superficie piuttosto liscia dell'estradosso delle travi metalliche favoriva il distacco della soletta.

Pertanto è stata introdotta la connessione mediante elementi saldati all'estradosso delle travi, il più famoso connettore è il "piolo Nelson".

Tale tecnica è stata poi utilizzata sui solai di legno dove sicuramente l'aderenza e l'attrito fra legno e calcestruzzo è talmente minima da non poter essere considerata, anche in considerazione del fatto che il legno si ritira e rigonfia in funzione delle condizioni termometriche stagionali, pertanto è quantomai necessaria una connessione a piolo.



Gli Italiani Turrini e Piazza sono stati fra i primi a studiare già dagli anni '80 i solai misti legno-calcestruzzo, proposero un connettore realizzato con una barra di acciaio da c.a. fissata alle travi di legno con collante epossidico in appositi fori.



Perché un fissaggio meccanico a secco? Quali sono i vantaggi rispetto alla connessione con resine?

Le differenze fra il ben noto connettore Turrini-Piazza ed il connettore Tecnarìa sono tante:

- Il connettore Turrini-Piazza necessita di praticare dei fori nelle travi, pulire con aspiratore i fori, preparare i connettori (che sono delle comuni barre da c.a. opportunamente piegate) incollare con collante epossidico i connettori, attendere qualche giorno che il collante faccia presa e poi è possibile armare il solaio o gettare;
- il connettore Tecnarìa è pronto all'uso, non necessita di fori (tranne nel caso di legni duri e per il connettore Maxi che monta viti di diametro maggiore), qualora bisogna praticare i fori per le viti questi non necessitano di pulizia, una volta avvitate le viti il solaio è subito pronto per essere armato e gettato;

- i collanti epossidici sono materiali abbastanza delicati da conservare, preparare e mettere in opera, ad esempio la conservazione al di sotto di zero gradi può rendere il prodotto inutilizzabile, la non corretta miscelazione dei componenti inficia la riuscita del lavoro, il prodotto non può essere applicato a temperature inferiori a 10 gradi (quindi in inverno generalmente tale tecnica non è utilizzabile);

- per i motivi anzi detti, il connettore Tecnarìa è nettamente più semplice da mettere in opera;

dal punto di vista meccanico, il connettore Turrini-Piazza scambia lo sforzo di taglio con il legno attraverso la parte infissa nel legno per rifollamento, lo stelo infisso nel legno si deforma in quanto il legno localmente si schiaccia (rifollamento); il connettore Tecnarìa scambia lo sforzo di taglio con il legno in massima parte per mezzo dei ramponi che ingranano nel legno ancorandosi in maniera piuttosto rigida, in minima parte per mezzo delle viti con un comportamento analogo al Turrini-Piazza, ne consegue che la connessione Tecnarìa è più rigida e resistente rispetto a Turrini-Piazza, ad esempio un connettore Turrini-Piazza diametro 12mm in legno di abete di classe C24 (EN338) ha modulo di scorrimento $K=11.040\text{N/mm}$ e carico ammissibile $F=6.900\text{N}$ mentre il connettore Tecnarìa Base ha $K=20.800\text{N/mm}$ e $F=7.500\text{N}$

Come il connettore Tecnaria si oppone agli sforzi di taglio? E' vantaggiosa la scomposizione: piolo -piastra ramponata - viti, anziché un unico elemento avvitato od infisso come ad es. una semplice vite?

Il primo vantaggio di avere la piastrina ramponata è che lo sforzo di taglio viene trasmesso al legno in massima parte attraverso i ramponi secondo un funzionamento molto rigido e resistente, ed in minima parte attraverso le viti che sono molto più deformabili. Un altro vantaggio è che la piastrina fornisce supporto rigido al piolo e non trasmette al calcestruzzo la flessione delle viti.

E' rilevante ai fini della resistenza una maggiore superficie metallica a contatto col legno?

La connessione legno-calcestruzzo è composta da tre elementi: legno, connettore e calcestruzzo.

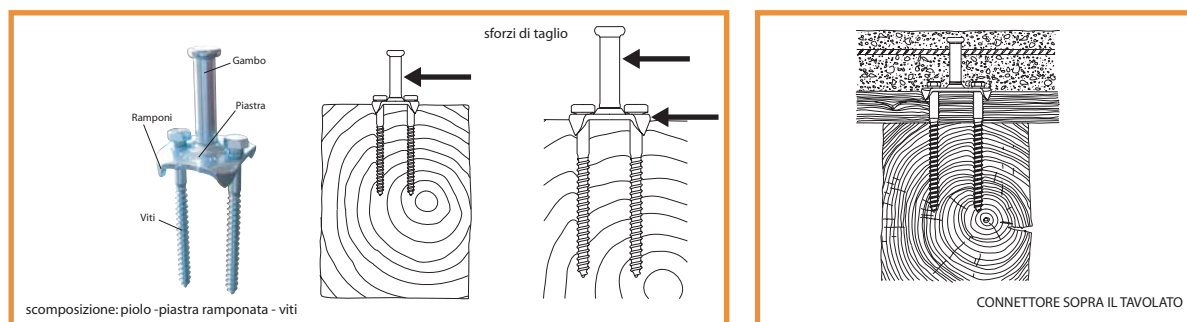
L'anello debole, dal punto di vista della resistenza ma anche della deformabilità, è per molti sistemi di connessione il legno; in particolare lo schiacciamento del legno (rifollamento) sotto l'azione del connettore sottoposto a taglio (carico parallelo all'asse della trave che tende a far scorrere la soletta di calcestruzzo rispetto alla trave di legno) è determinante ai fini del comportamento meccanico della connessione e quindi dell'intero solaio.

Aumentando la superficie di scambio fra connettore e legno diminuiscono le tensioni di rifollamento e migliora il comportamento meccanico della connessione.

Nel connettore Tecnaria tale superficie è data dalla superficie verticale dei ramponi e delle viti, ma il comportamento meccanico è dipendente soprattutto dai ramponi che trasmettono il carico dalla soletta alla trave immediatamente, cioè senza passare attraverso elementi inflessi.

Nei connettori infissi, come ad esempio il connettore Turrini-Piazza o semplici viti, il taglio viene trasmesso al legno per rifollamento lungo la superficie di contatto della vite nella parte infissa, con conseguente inflessione del connettore e maggiore scorrimento.

La larghezza della piastrina del connettore Tecnaria fa sì che i punti che ingranano nel legno, cioè i ramponi, siano distribuiti su di una superficie più ampia e quindi la connessione interessa un maggior volume di legno con conseguente beneficio in termini di resistenza e rigidità.



Cosa avviene quando si fissa il connettore sopra il tavolato e quindi non a diretto contatto con la trave portante?

L'interposizione o meno del tavolato è molto influente sulle caratteristiche meccaniche di qualunque tipo di connessione, infatti il tavolato è generalmente posto ortogonalmente alle travi, quindi mostra nella direzione dello sforzo di taglio la sua resistenza e rigidità minore (il modulo di elasticità del legno ortogonalmente alla fibratura è circa 30 volte più basso di quello parallelo alla fibratura).

In pratica il tavolato non offre alcuna resistenza allo scorrimento del connettore e quindi è come se il connettore, nello spessore del tavolato, fosse libero nell'aria.

Pertanto nello spessore del tavolato il connettore è libero di inflettersi dando origine a maggiore scorrimento e minore resistenza.

Nel connettore Tecnaria si perde l'effetto di ingranamento dei ramponi ed il taglio viene scambiato solo dalle viti che chiaramente si inflettono.

A parità di prestazioni del solaio, nel caso di interposizione del tavolato sono necessari molti più connettori rispetto al caso senza interposizione di tavolato.

Anche in presenza di tavolato però è possibile posizionare il connettore a diretto contatto della trave "carotando" il tavolato, cioè asportando dei tasselli di tavolato di diametro 8cm dove poi viene alloggiato il connettore, oppure tagliando il tavolato al di sopra della trave realizzando un canale continuo all'interno del quale saranno fissati i connettori; in questa maniera si riduce il numero di connettori necessari.

Si migliora il comportamento al fuoco con strutture miste legno-clc?

Il comportamento al fuoco dei solai di legno viene sicuramente migliorato per i seguenti motivi:

- la soletta di calcestruzzo ai fini antincendio costituisce partizione fra locali;
- la maggiore resistenza del solaio con soletta collaborante rispetto a quello con soletta non collaborante, a parità di sezione delle travi di legno, di fatto si traduce in un notevole aumento della resistenza al fuoco (tempo che intercorre fra l'inizio dell'incendio ed il crollo della struttura).

È possibile calcolare la resistenza al fuoco dei solai misti legno-calcestruzzo utilizzando gli Eurocodici, in particolare:

- UNI EN 1991-1-2:2004: Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco;
- UNI ENV 1992-1-2:1998: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione della resistenza all'incendio;

UNI ENV 1995-1-2:1996: Eurocodice 5 - Progettazione di strutture di legno - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.

Si migliora il comportamento al sisma con solai misti legno-clc rispetto ai solai di solo legno?

I solai legno-calcestruzzo in zona sismica, dal punto di vista della resistenza e della rigidità orizzontale, si comportano sostanzialmente come i solai di laterocemento e i solai a travi di acciaio con soletta di calcestruzzo.

Infatti il comportamento meccanico nei confronti delle azioni orizzontali è determinato esclusivamente dalla soletta di calcestruzzo (che funziona come lastra) e dalla sua connessione con gli elementi strutturali in elevazione (murature, telai o setti di c.a., telai metallici).

La realizzazione di una soletta di calcestruzzo armato al di sopra di un solaio di legno, se efficacemente connessa alle murature perimetrali, aumenta la rigidità nel piano del solaio di solo legno (anche se con tavolato o doppio tavolato) nei confronti delle azioni sismiche e contribuisce al corretto "comportamento scatolare" degli edifici; inoltre costituisce piano rigido nei confronti della ripartizione delle azioni sismiche fra i vari elementi a sviluppo verticale resistenti al sisma.

E' chiaro però che la soletta è un "foglio" che per poter lavorare correttamente ha bisogno di essere "stabilizzato" da nervature, ecco che le sottostanti travi di legno costituiscono nervatura stabilizzante per la soletta solo se correttamente connesse.

Rispetto ai solai di laterocemento e ai solai a travi di acciaio con soletta di calcestruzzo, il solaio legno-calcestruzzo è più leggero e quindi costituisce minor massa sismica.

Come si può calcolare il numero dei connettori?

Il numero di connettori deve essere calcolato utilizzando la teoria delle sezioni composte di Möhler, riportata in UNI ENV 1995 "Eurocodice 5", DIN 1052, e numerose altre normative.

La teoria si basa sull'assunto che qualunque connessione, se sottoposta a sforzi di taglio, si deforma contrastando lo scorrimento con la rigidità propria che comunque non è infinita.

Pertanto per le sezioni miste non vale il principio delle sezioni piane, in particolare tale principio rimane valido all'interno della sola sezione di legno ed all'interno della sola sezione di calcestruzzo.

Di conseguenza la sezione non ha un unico asse neutro ma uno per il solo legno ed uno per il solo calcestruzzo.

I due assi neutri saranno tanto più vicini quanto maggiore è la rigidità della connessione.

Il calcolo è piuttosto complesso, anche perché ci sono altri parametri da considerare come la viscosità dei materiali (legno, calcestruzzo e connessione), pertanto è opportuno riferirsi a programmi di calcolo affidabili.

La Tecnaria mette a disposizione gratuitamente due distinti programmi di calcolo che utilizzano la teoria di Möhler, uno alle tensioni ammissibili ed uno agli stati limite.

Che calcestruzzo si usa normalmente e di che spessore? E' necessario il CLS leggero?

Una buona soletta è di calcestruzzo normale di spessore 5cm.

Lo spessore di 5cm è il minimo per cui si può considerare il solaio infinitamente rigido in zona sismica nei confronti delle azioni orizzontali (OPCM n°3274).

La classe del calcestruzzo non è molto influente per le prestazioni del solaio, tuttavia si raccomanda di utilizzare calcestruzzi di classe Rck30N/mm² o superiori, provenienti da centrali di betonaggio; per i calcestruzzi fatti in cantiere generalmente non è possibile garantire la qualità.

I calcestruzzi leggeri per legge per essere strutturali devono avere un peso specifico superiore a 1400kg/m³, generalmente messi in opera e armati raggiungono i 1550kg/m³; i calcestruzzi normali hanno un peso specifico di 2500kg/m³; pertanto una soletta di 5cm di calcestruzzo leggero pesa 78kg/m² mentre di calcestruzzo normale 125kg/m², cioè circa 47kg/m² in più che nell'analisi dei carichi influiscono ben poco.

Per contro i calcestruzzi leggeri hanno una viscosità (fluage) molto più spiccata rispetto ai calcestruzzi normali, pertanto nel solaio misto legno calcestruzzo danno origine ad aumento della freccia nel tempo molto superiore dei calcestruzzi normali, a meno che non si utilizzino spessori maggiori di calcestruzzo, con conseguente perdita di leggerezza.

Per l'utilizzo di calcestruzzi leggeri si raccomanda di riferirsi a dati sperimentali, in particolare è necessario conoscere la resistenza, il modulo elastico ed il coefficiente di viscosità (quest'ultimo dato è molto importante); in assenza di dati sperimentali si possono utilizzare le indicazioni contenute nel bollettino CNR184/98 "Linee guida alla progettazione di strutture di calcestruzzo confezionato con aggregati leggeri" CNR/DT 102/97

E' opportuno interporre un telo (nylon, carta oleata, Tyvek...) prima del getto? Quale? Perché?

Il getto di calcestruzzo direttamente sul tavolato o sullo scempiato di piastrelle o tavole provoca i seguenti inconvenienti:

- al disotto del solaio si hanno percolazioni di boiaccia che macchiano le travi;
- il tavolato o pianellato assorbe l'acqua di impasto ed il calcestruzzo matura in condizioni secche perdendo di resistenza;
- il tavolato di legno assorbe l'acqua di impasto e si rigonfia (il legno ortogonalmente alla fibratura si dilata molto assorbendo umidità), le tavole entrano in contrasto fra loro lungo i fianchi e possono sollevarsi dopo poche ore dall'esecuzione del getto, sollevando anche la soletta.

È opportuno inserire fra il getto ed il tavolato un telo in grado di trattenere l'acqua, è sufficiente un sottile telo di nylon o di carta oleata (quella che si usa in cucina).

Non è necessario utilizzare guaine traspiranti (tipo Tyvek) in quanto la soletta di calcestruzzo è impermeabile e quindi un solaio misto legno-calcestruzzo non sarà mai traspirante.

La rete elettrosaldata va legata ai connettori? Va sollevata dal piano?

Non è necessario legare la rete elettrosaldata ai connettori in quanto è il calcestruzzo che lega il tutto.

La rete va sollevata dal piano di almeno 8mm per garantire la protezione dell'armatura.

È opportuno lasciare la rete piuttosto bassa nella soletta in modo che funga da armatura inferiore della soletta inflessa nell'interasse delle travi.

Nel restauro occorre fare valutazione dello stato del legno?

Il sistema legno-calcestruzzo funziona se il legno è sano, pertanto bisogna prima di tutto accertarsi di questo.

Generalmente (ma non sempre) gli insetti xilofagi demoliscono il legno in superficie, questo non altera sostanzialmente la resistenza delle travi.

È necessario però asportare la parte di legno attaccato da insetti almeno all'estradosso dove vanno alloggiati i connettori in modo che questi si ancorino su legno sano.

Diverso è per il legno attaccato da funghi della carie, generalmente la carie agisce all'interno della sezione e spesso non dà luogo ad evidenti manifestazioni esterne, in questi casi bisogna valutare attentamente il degrado e, se necessario, consolidare o sostituire la trave prima di eseguire l'intervento con soletta collaborante.

Spesso la carie agisce nelle testate inserite nel muro, nei casi più gravi è necessario realizzare una protesi sulla testa della trave; la sola soletta di calcestruzzo non è in grado di costituire valido appoggio a muro in assenza di legno!

In ogni caso, anche quando non si avverte la presenza del degrado (da funghi e/o insetti), è opportuno interpellare un Dottore Forestale in grado di fare una corretta diagnosi del legno e sollevare il Progettista dai dubbi.

Quanti anni può durare il rinforzo fatto con connettori Tecnarìa?

Se il solaio è correttamente progettato e, durante la vita della struttura, questa non viene gravata da carichi sostanzialmente superiori a quelli previsti in fase di progetto, la durata del solaio è legata alla durata dei materiali:

- il legno se correttamente conservato è praticamente eterno.

- i connettori sono elementi metallici zincati e pertanto non hanno problemi di durabilità;

il calcestruzzo in ambienti interni ha durata molto lunga, inoltre questo si trova protetto all'intradosso da un telo impermeabile ed all'estradosso dal pavimento, pertanto i fenomeni di carbonatazione sono fortemente ritardati essendo inibito il contatto con l'atmosfera.

In sintesi quale è il vantaggio del vs sistema rispetto ad altri? (test, posa, superficie di contatto, duttilità..)

- Facilità e rapidità di posa, che si traduce in economia del lavoro;

- sicurezza di un sistema testato secondo le normative europee e sottoposto a numerosi studi scientifici;

- facilità, economicità ed affidabilità del calcolo eseguito secondo l'Eurocodice 5 con i programmi gratuiti forniti da Tecnarìa;

- assistenza tecnica assicurata in cantiere e in tempi brevi.

Il vostro sistema è stato testato?

Le caratteristiche meccaniche della connessione (intesa come insieme viti - ramponi - piolo, considerando anche la resistenza e rigidità di contatto connettore - legno e connettore - calcestruzzo) sono state oggetto di numerose campagne di prove meccaniche.

La principale campagna di prova, dalla quale derivano i valori meccanici che si utilizzano nel calcolo, è stata eseguita presso il CNR Istituto per la Ricerca sul Legno (attualmente IVALSA) di Firenze nel 2001 su 80 provini.

I connettori, fissati sul legno, sono stati sottoposti a prova sollecitandoli a taglio e rilevando lo scorrimento in funzione del carico, in conformità alla normativa europea (Eurocodice 5 e norme di supporto), in particolare la UNI EN 26891 "Strutture di legno. Assemblaggi realizzati tramite elementi meccanici di collegamento. Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità".

Ulteriori prove sono state eseguite presso:

- Laboratorio sperimentale per le prove sui materiali da costruzione della Facoltà d'Ingegneria dell' Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni dell' Università di Padova nel 1995 e 1996 (prove di scorrimento e rottura, su provini);

- Università degli Studi di Trieste - Dipartimento di Ingegneria Civile nel 2000 (prove di scorrimento, di rottura e di viscosità, sia con calcestruzzi normali che leggeri, su provini);

- Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile, Laboratorio Strutture nel 2001 (prove di scorrimento, di rottura e prove dinamiche, su solai);

- Universität Leipzig, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie nel 1999 (prove di scorrimento e rottura con calcestruzzi leggeri, su provini);

Hanno risposto alle domande gli ingegneri Marco Pio Lauriola e Maurizio Follesa www.timberengineering.it

TECNARIA

TECNARIA S.p.A. Viale Pecori Giraldi 55 - Bassano del Grappa (VI) - Italia - Tel. +39. 0424 502029 r.a.

Fax +39.0424.502386 - E-mail: info@tecnaria.com - <http://www.tecnaria.com>