

Laterizio e legno insieme nel solaio

G. Femminella

Viene presentato un nuovo sistema costruttivo che deriva dall'evoluzione delle migliori tradizioni europee, nel quale il laterizio è abbinato al solaio composto legno-calcestruzzo sia per i consolidati requisiti di carattere tecnico (protezione, sicurezza, stabilità e velocità di messa in opera), sia per i manifesti pregi estetici della terracotta.

E' significativo notare come le storie del laterizio (terracotta) e del legno, da sempre materiali da costruzione utilizzati dall'uomo per le proprie abitazioni, inizino pressoché insieme, e cioè nell'età neolitica. E' un fatto altresì singolare che lo sviluppo delle tecniche di utilizzo di questi prodotti si sia prevalentemente manifestato per la terracotta presso i Paesi mediterranei e per il legno presso i Paesi nordici. Volendo focalizzare i due principali poli di sviluppo delle tecnologie e dell'uso di questi elementi, si può senz'altro affermare che furono rappresentati dal mondo romano-imperiale e da quello nordico-anglosassone.

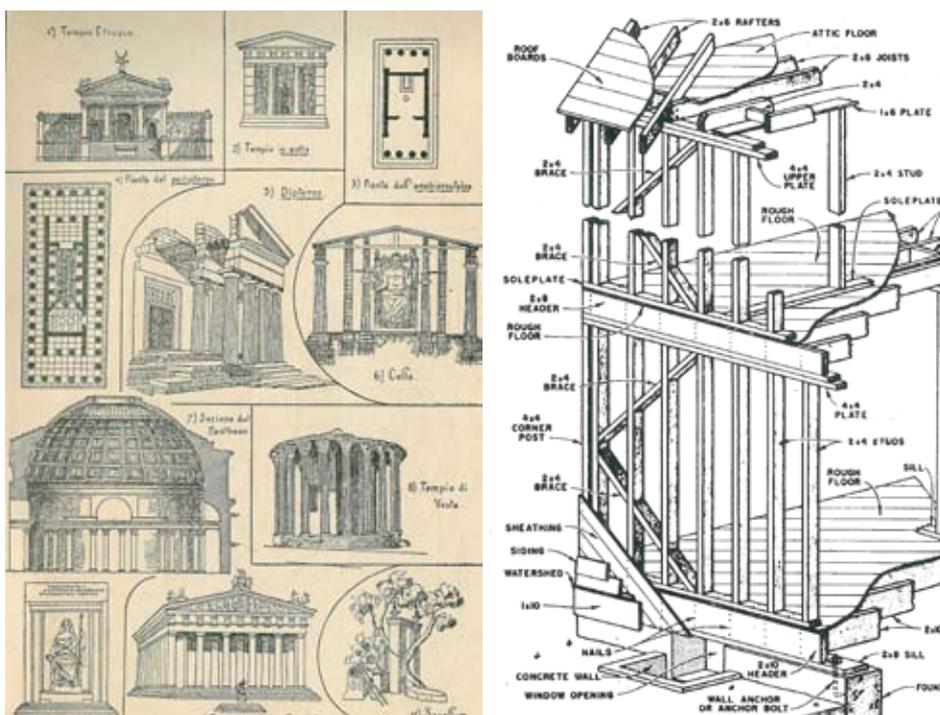


Fig. 1 - Esempi di antiche costruzioni in muratura (a sinistra) e in legno (a destra).

Senza dubbio, le caratteristiche di questi due prodotti erano confacenti alle esigenze delle rispettive popolazioni che ne facevano uso. I popoli nordici infatti, essendo prevalentemente dediti alla caccia, avevano necessità di spostarsi frequentemente e quindi dovevano utilizzare tecniche di costruzione veloci e leggere, mentre i popoli mediterranei, e più precisamente quelli latini, dediti all'agricoltura, avevano l'opposta esigenza e potevano quindi utilizzare materiali massivi per costruire edifici confortevoli e duraturi nel tempo.

Il mondo classico, da quel momento, porta avanti l'idea di realizzare con il laterizio edifici che avrebbero sfidato i millenni, mentre quello nordico affina le tecniche di utilizzo del legno per uso strutturale.

Fino a circa due secoli fa non vi erano, a parte la pietra naturale, altri materiali che questi da impiegare per le costruzioni edilizie. Si potrebbe dire, in definitiva, che il legno ed il laterizio hanno conquistato sul campo una maturata affidabilità. D'altra parte, la vita di qualsiasi tecnica è legata strettamente alle innovazioni che ne determinano la possibilità di sviluppo e sopravvivenza. Sia il legno che il laterizio, durante tutto il secolo scorso, sono stati oggetto di studi che li hanno portati a raggiungere punte di eccellenza: ad esempio, il "legno lamellare incollato" ed il "laterizio estruso", ambedue risalenti ai primi del Novecento.

I SOLAI E LA LORO EVOLUZIONE

Entrando nella trattazione specifica dell'argomento "solai", è d'obbligo riportarne 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.

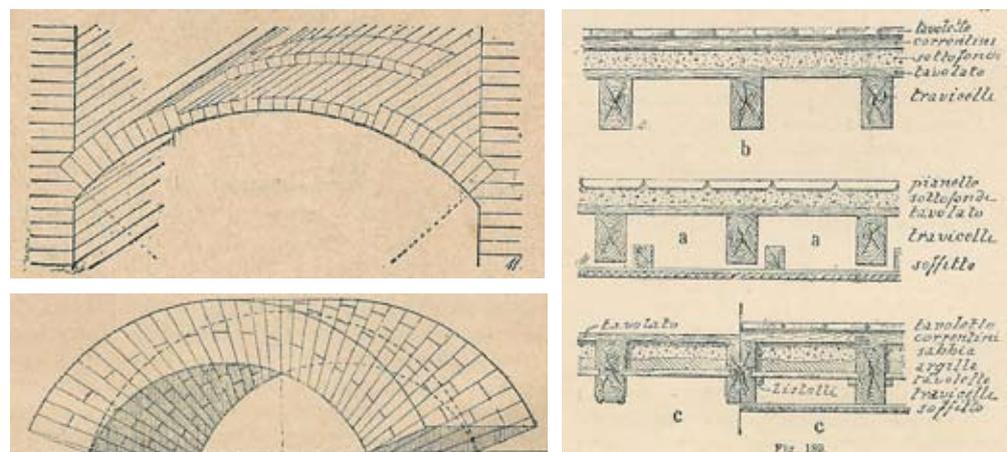


Fig. 2 - Soluzioni costruttive per la realizzazione degli orizzontamenti, attraverso archi in muratura (a sinistra) e solai in legno (a destra).

Successivamente, le volte verranno superate dalle strutture orizzontali, più vantaggiose sia per il minor volume generalmente occupato da quest'ultime, 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.

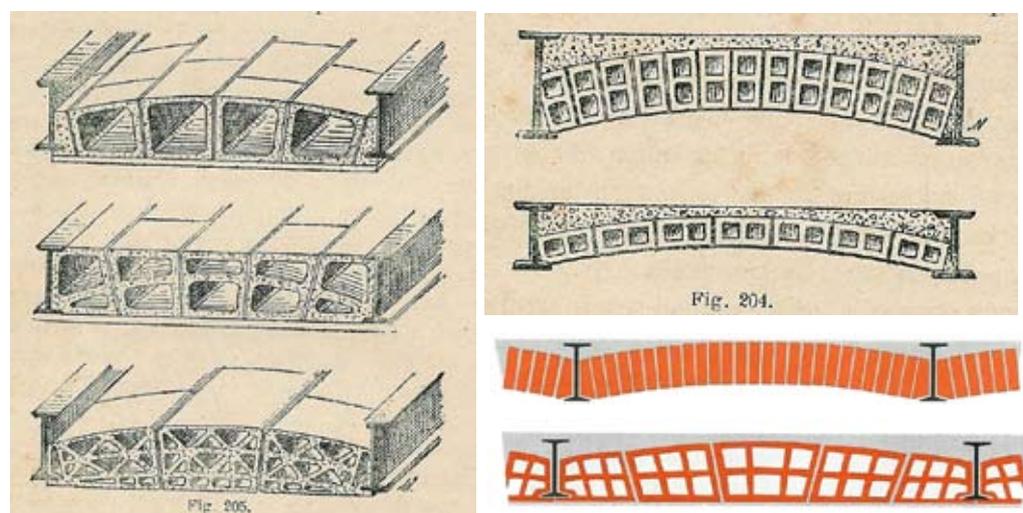


Fig. 3 - Solai della seconda metà dell'Ottocento: travi di ferro a doppio "T" (putrelle) con interposti elementi in laterizio.



I solai in legno verranno anch'essi rimpiazzati in quanto vulnerabili al fuoco, oltreché di durata inferiore a quelli a volta. Nel corso della seconda metà dell'Ottocento, fino ai primi del Novecento, il laterizio verrà ampiamente applicato nelle strutture orizzontali in abbinamento alle travi in ferro a doppio "T" o putrelle quali elementi strutturali.

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. Proprio tra fine '800 ed inizio '900 si definisce in maniera scientifica la tecnologia del calcestruzzo armato che modificherà completamente il modo di progettare grazie alle caratteristiche proprie, quali la resistenza a compressione e a flessione, nonché la possibilità di essere modellato in svariate fogge. 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. 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 cementizia all'interno di apposite scanalature. Si realizzavano così travetti laterizi che era possibile affiancare lasciando lo spazio per la nervatura da gettare successivamente in opera.

Nel dopoguerra e quindi a partire dagli anni '40 e fino agli anni '60, si svilupperanno tre tecniche di produzione di travetti armati:

1. in laterizio con profilo a "T" rovescio con le armature alloggiare in opportune scanalature (fig. 4a)
2. in cemento con profilo a "T" rovescio costituito da calcestruzzo precompresso (fig. 4b)
3. in laterizio e traliccio, costituito da un'armatura metallica inserita nella parte inferiore di un fondello anch'esso in laterizio (fig. 4c).

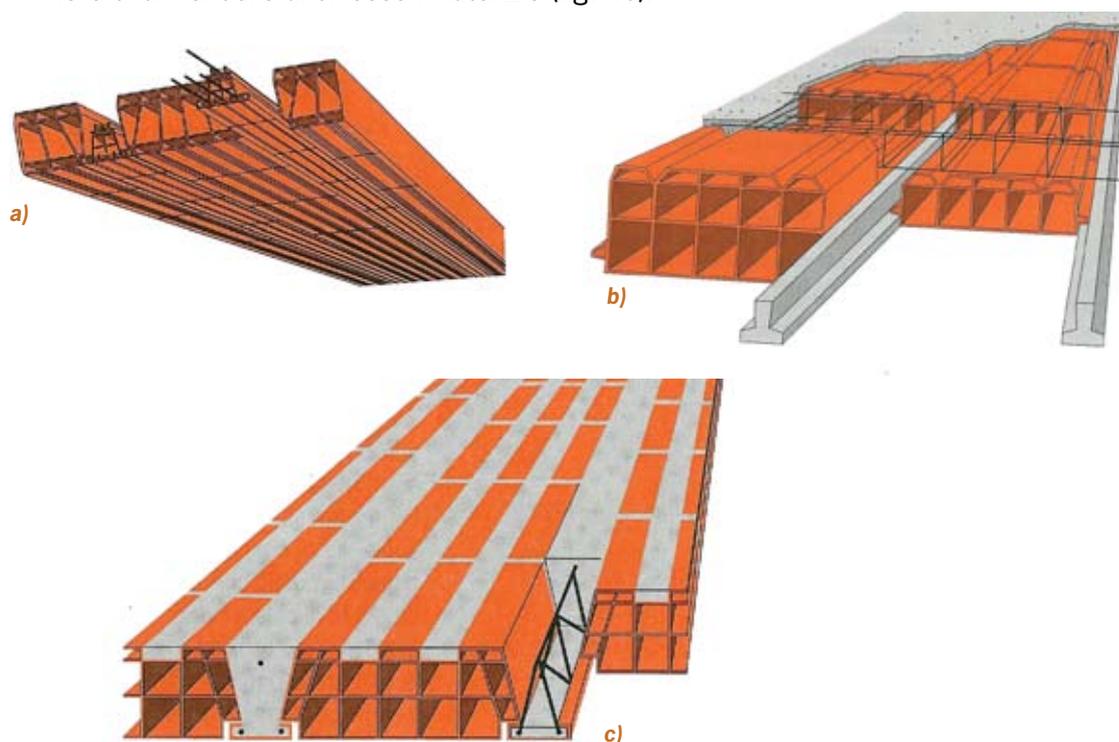


Fig. 4 - Solai in laterocemento con i primi travetti armati.

I solai così realizzati presentano travetti 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.



Fig. 5 - Travetti armati a traliccio con fondello in laterizio.

Negli anni '70, parallelamente ai solai a travetti, si realizzano pannelli armati prefabbricati in laterocemento, nonché solai a lastre in calcestruzzo armato di tipo *predalle*, costituite da tralici 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 questo materiale lavorare in unione con il calcestruzzo attraverso connessioni di tipo puntuale o continuo per mezzo di viti, resine, pioli, lame o lamiere.

4

Laterizio e legno insieme nel solaio

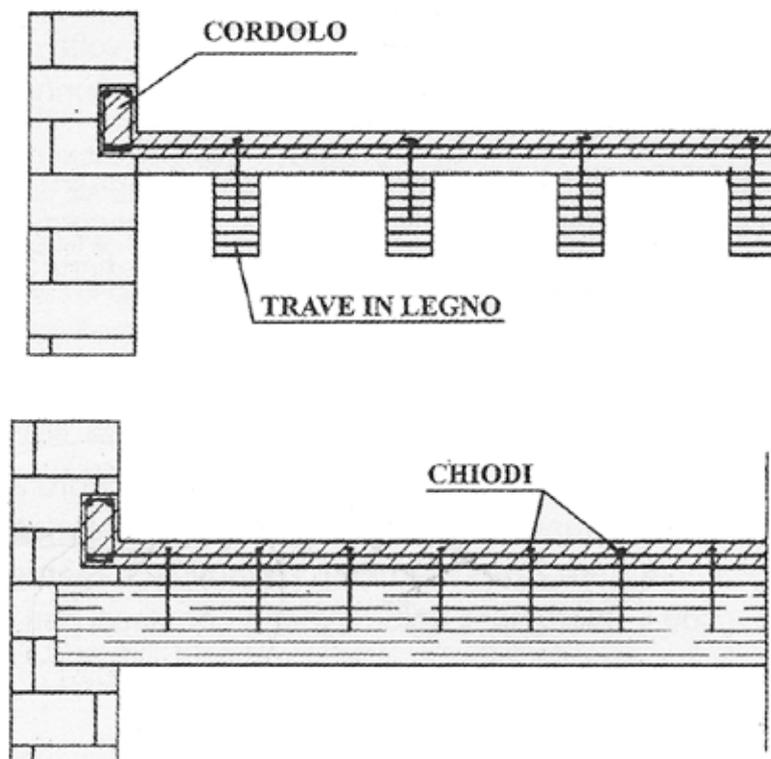


Fig. 6 - Solai composti legno-calcestruzzo.

Solo a partire dal 2000 si realizza, attraverso una serie di tappe di avvicinamento, un'interessante sintesi che permette ai due materiali, legno e laterizio, di lavorare in sinergia.

SOLAIO IN LEGNO-LATERIZIO

Si tratta di un solaio a tecnologia di tipo eco-orientata (fig. 7) che, oltre al legno e all'acciaio strutturali, utilizza come interposto il laterizio e come isolante il sughero, consentendo al "pacchetto" di respirare ed isolare creando ottime condizioni *indoor*. L'innovativa configurazione del solaio basa la propria filosofia sul corretto rapporto fra soluzione leggera e massiva, in cui il ruolo dell'inerzia termica (accumulo termico, sfasamento e attenuazione) si bilancia con quello dell'isolamento e con l'utilizzo di materie prime naturali porose e traspiranti.



Fig. 7 – Solaio lamellare tralicciato antisismico con blocchi in laterizio interposti.

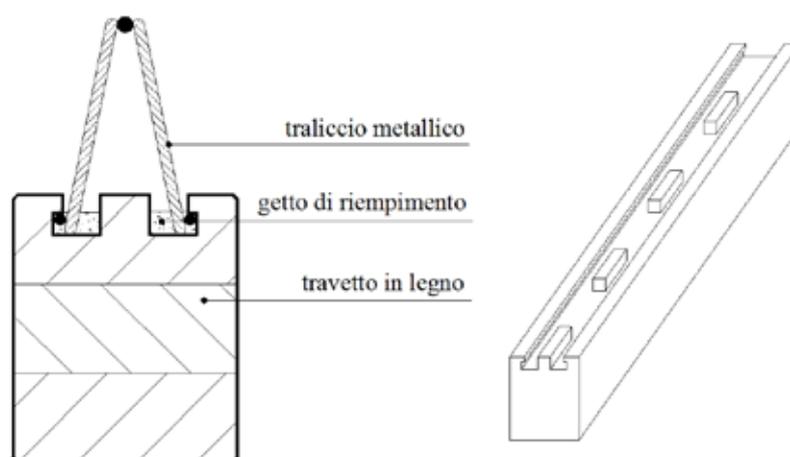


Fig. 8 – Travetto in legno con traliccio metallico.

Le principali caratteristiche del "sistema" sono riassumibili nei seguenti punti:

- diaframma rigido ed efficace collegamento con le strutture verticali;
- eliminazione delle fasce piene e travi a spessore in c.a, con conseguente risoluzione del calcolo dei nodi in prossimità dei pilastri o delle murature portanti;
- struttura a comportamento elastico, di tipo dissipativo viscoso ed isteretico nei confronti di azioni sismiche o di altra natura;
- resistenza al fuoco.

La sezione resistente del solaio in legno-laterizio è costituita da una trave superiore a "T" in calcestruzzo armato di dimensioni costanti e da un travetto rettangolare in legno lamellare (fig. 8). Nella parte superiore, quest'ultimo è dotato di una particolare fresatura ad incastro nella quale viene realizzato un getto in malta cementizia antiritiro ad alta resistenza e, successivamente, inserito un traliccio metallico in acciaio nervato tipo B450C elettro-saldato tipo *bausta* (fig. 9).

Il montaggio del solaio ed il successivo getto di completamento sono effettuati con operazioni convenzionali di pratica diffusa, ovvero:

- posa in opera dei travetti con l'interasse di progetto (normalmente, il solaio viene dimensionato con interasse pari a 56 o 66 cm);
- posa in opera degli elementi di interposizione (blocchi in laterizio, tavelle in cotto, o altro; fig. 10);
- opere di puntellamento dei travetti ogni 2,50 m;
- posa in opera dell'armatura e getto del calcestruzzo di completamento e della soletta di spessore 50 mm;
- maturazione del getto e disarmo;
- eventuale rifinitura delle pignatte lisce all'intradosso.

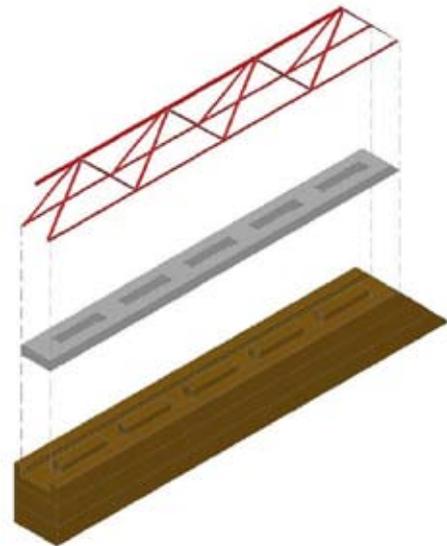


Fig. 9 - Assemblaggio del travetto in legno lamellare con il traliccio bausta e malta pissotropica.

Com'è noto, il solaio ha la funzione di trasferire la azioni dai rispettivi punti di applicazione alle strutture principali dell'edificio, alle quali, dunque, deve risultare ben collegato. Pertanto, deve avere adeguata resistenza e rigidezza in presenza dei carichi verticali. In proposito, con particolare riferimento al caso sismico, per gli orizzontamenti a struttura mista, le norme (DM 14/01/2008) prescrivono che questi "possono essere considerati infinitamente rigidi nel proprio piano" rispetto agli elementi verticali "a condizione che siano realizzati con soletta in cemento armato di almeno 50 mm di spessore collegata da connettori a taglio, opportunamente dimensionati, agli elementi strutturali in legno". 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).

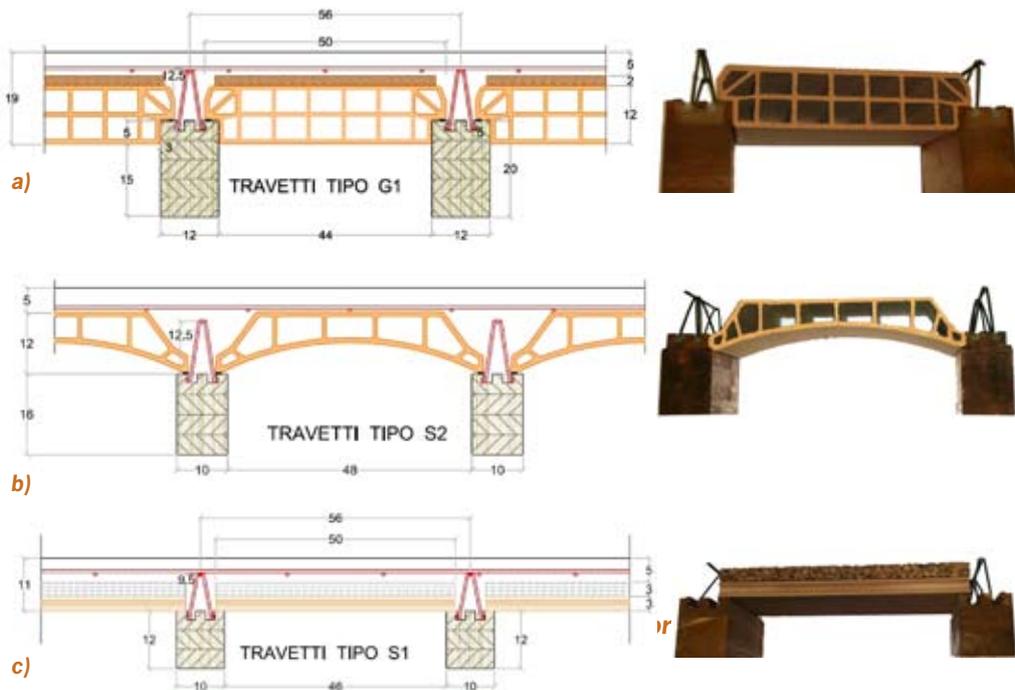


Fig. 10 - Solai in legno-laterizio con pignatta liscia rivestita all'intradosso con PE similintonaco (a), pignatta a volta (b) e tavella liscia o sabbata (c) da lasciare a vista (misure in cm).

Dunque, 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.

L'unione laterizio-legno-calcestruzzo consente di sfruttare al meglio le caratteristiche dei diversi materiali, realizzando sezioni più "performanti" a partire da elementi di ridotte dimensioni. L'efficienza del sistema è tanto più elevata quanto più è rigida la connessione delle varie parti, ossia quanto più sono impediti gli scorrimenti relativi fra le superfici a contatto degli elementi che compongono la sezione.

Specifiche indagini numeriche e prove sperimentali, volte a determinare le sollecitazioni massime applicabili ai modelli e a definire le caratteristiche di resistenza e deformabilità degli stessi, sono state svolte presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università di Trento. Inoltre, è stato sviluppato un software di calcolo agli "stati limite ultimi" (SLU) coerente con i contenuti del DM 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) e relativa Circolare esplicativa del 2/02/2009, n. 617.

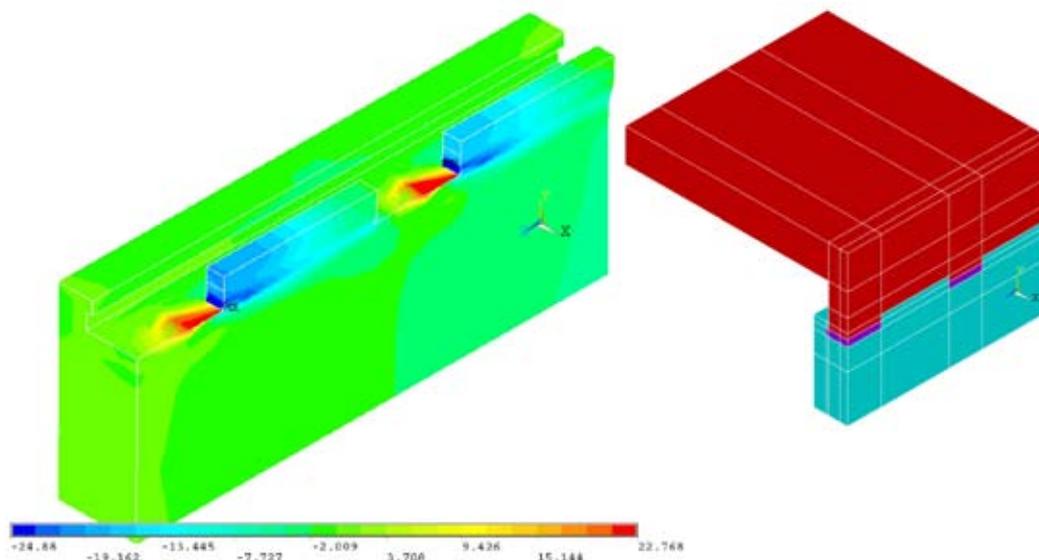


Fig. 11 - Modello numerico agli elementi finiti del travetto: geometria e distribuzione delle tensioni parallele alla fibratura del legno nel dettaglio costruttivo della connessione legno-calcestruzzo.

Dalle rilevazioni sperimentali è emerso che il comportamento statico reale della sezione composta legno-calcestruzzo è influenzato dalle rigidità flessionali ed assiali degli elementi componenti e dalla deformabilità della connessione, risultando sempre molto vicina al limite di rigidità infinita. Nelle travi composte, ed in particolare in quelle laterizio-legno-calcestruzzo, si cerca di sfruttare le peculiari caratteristiche dei singoli materiali. Alla soletta in c.a. e alla pignatta di laterizio sono affidati gli sforzi di compressione per quanto riguarda il comportamento flessionale, di ripartizione dei carichi e di assorbimento delle azioni nel piano di solaio; all'elemento ligneo, invece, sono affidati gli sforzi prevalentemente di trazione e flessione.

La possibilità di adottare sezioni miste laterizio-legno-calcestruzzo è contemplata anche dalle specifiche norme nazionali (DM 14/01/2008) le quali, con riferimento al solaio, prescrivono che, affinché possa essere considerato infinitamente rigido nel proprio piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistente, questo debba presentare una soletta in c.a., di spessore almeno pari a 50 mm, collegata da connettori resistenti a taglio agli elementi in legno: come, peraltro, risulta nel caso del solaio in legno-laterizio qui illustrato.

Il tipo di connessione adottato nel sistema solaio preso in considerazione si riferisce 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, di un traliccio metallico tipo *bausta*, preinserito meccanicamente in stabilimento, e di un getto di completamento in conglomerato cementizio eseguito in opera.

E' stata effettuata anche la verifica del comportamento sismico del solaio mediante prove di caratterizzazione dinamica, svolte su tavola vibrante presso il Centro Ricerche Enea della Casaccia (Roma) su un modello di edificio in muratura e copertura del tipo non spingente. Sono state effettuate, inizialmente, più prove di impulso a diversa intensità per il controllo della caratterizzazione dinamica del solaio, che ha registrato valori della prima frequenza conformi alle previsioni numeriche e uno scorrimento contenuto al di sotto della sensibilità degli strumenti. La sperimentazione ha dunque dimostrato che l'efficace sinergia tra gli elementi costituenti il solaio, soletta in calcestruzzo e travi in legno lamellare, conferisce all'insieme rigidità e resistenza adeguate, offrendo un valido (pratico, semplice e veloce) sistema per il miglioramento sismico negli interventi di ristrutturazione di edifici esistenti.

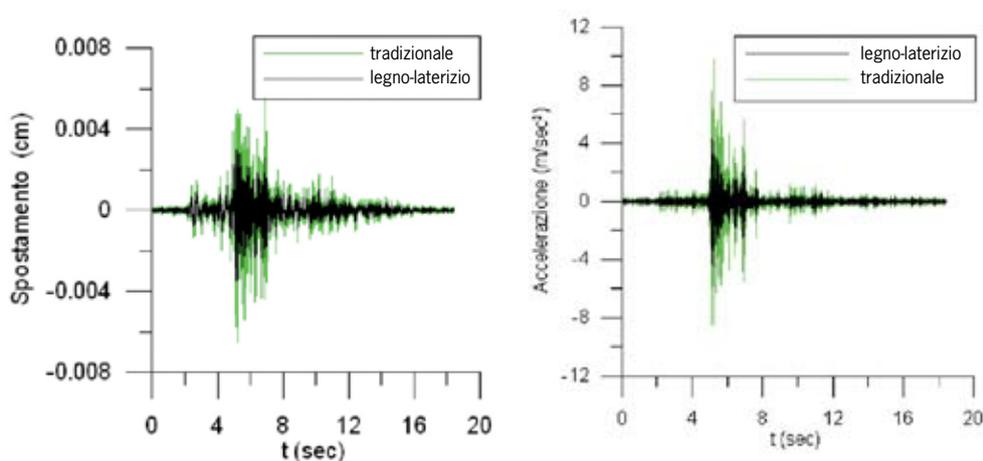


Fig. 12 - Misure dello spostamento e dell'accelerazione registrate sul solaio durante la prova dinamica su tavola vibrante del Centro Ricerche Enea della Casaccia (Roma).

Più di duemila anni sono trascorsi da quando è iniziata la razionalizzazione delle tecniche costruttive dei solai e tante esperienze ne sono derivate. Se è vero, come è vero, che l'evoluzione in tutti i campi ha sempre portato ad una selezione naturale determinata da un'ineluttabile competitività, è altresì vero che si deve trarre dal passato l'insegnamento per migliorare il presente e porre le basi per costruire il futuro. L'esperienza in verità dimostra come non sia mai esistita reale competizione tra il legno e il laterizio, ma anzi come questi due materiali, votati dall'inizio dei tempi ad essere utilizzati per far vivere l'uomo in ambienti sicuri, confortevoli e salubri, possano ancora fare sistema.