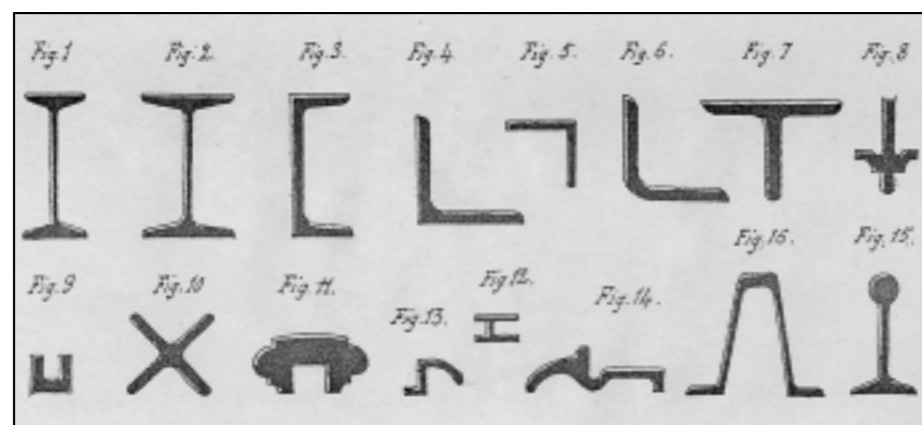


I solai in acciaio e laterizio

Scarsamente considerati come alternativa, i solai con profili in acciaio e blocchi interposti di laterizio si prestano a soluzioni innovative, specie con l'impiego di connettori



Sezioni di profilati metallici (da un catalogo dei primi del Novecento).

Il solaio con travi in acciaio e blocchi interposti in laterizio viene introdotto fra il 1785 e il 1790 in Francia e in Inghilterra ad opera di Ango, Saint-Fart e Goulet che realizzano solai con travi metalliche sagomate e voltine in mattoni. Sistema che nel 1791 l'Associazione inglese degli architetti promuoverà sia per le maggiori capacità portanti rispetto ai solai a travi in legno, sia perché ritenuto più sicuro rispetto al fuoco, soprattutto quando completamente intonato all'intradosso.

La ghisa, a partire dal 1779, con la costruzione del celebre ponte sul fiume Severn a Coalbrookdale, realizzato dalle fonderie di A. Darby III, trova diffusione inizialmente nelle costruzioni industriali. Sul finire del Settecento, C. Bage realizza una filanda a Ditherington in Inghilterra utilizzando travi in ghisa a T rovesciata da 2,6 m di luce con sezione ad altezza variabile

(media di 25 cm). Nel 1801 J. Watt e M. Boulton costruiscono a Salford un'altra filanda a sette piani con pilastri e travi in ghisa e muratura con funzione portante.

La sezione delle travi a T rovesciata permane in uso fino agli anni Trenta dell'Ottocento, periodo in cui E. Hodgkinson avvia una serie di sperimentazioni sulle travi a doppia T in base alle precedenti esperienze di T. Tredgold.

Bage, compiendo articolate sperimentazioni, individua nel valore medio di 1.100 dN/cm² la tensione al limite del campo elastico della ghisa, analogamente a quanto aveva proposto Tredgold che aveva determinato un valore di poco superiore a 1.000 dN/cm², tensione ritenuta uguale sia a compressione che a trazione, sopravvalutando le prestazioni a trazione della ghisa.

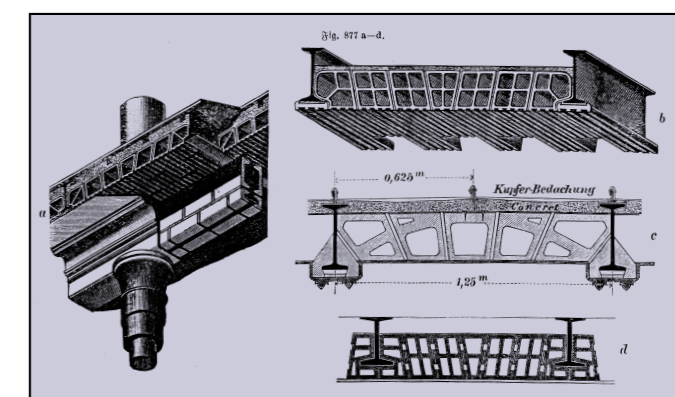
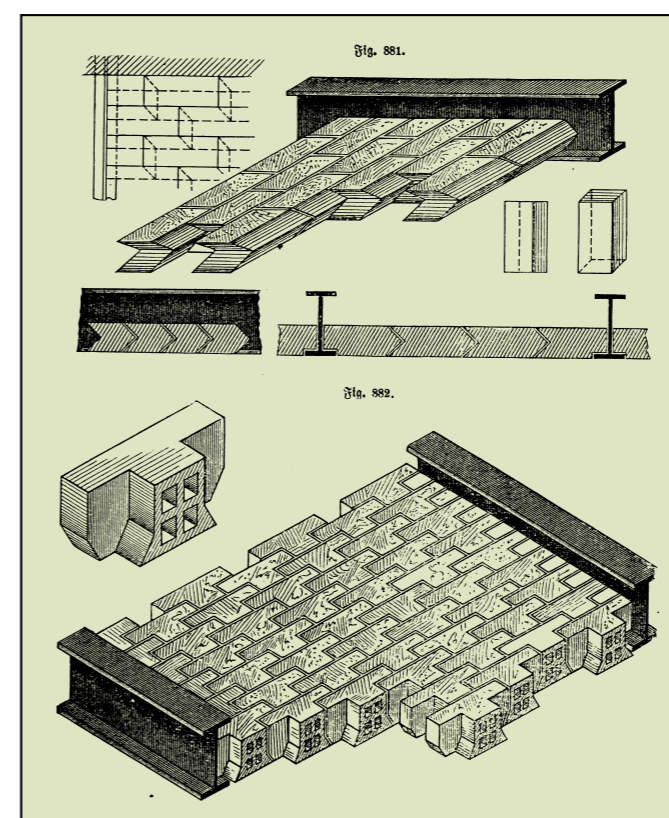
Ricerche e sperimentazioni sulle travi

in ghisa proseguono per buona parte dell'Ottocento e sono poi poste in secondo piano dalla diffusione dell'acciaio.

Nel 1847 H. Fielder realizza travi in acciaio con sezione a doppia T, unendo lamiera con rivetti, e nel 1847 F. Zores pubblica un atlante in cui descrive la produzione di laminati in ferro, in particolare suscitando l'interesse per l'omonimo profilo Zores.

Per quanto riguarda i procedimenti di dimensionamento, questi si diffondono nella manualistica della seconda metà dell'Ottocento in concomitanza con lo sviluppo della scienza delle costruzioni.

Per esempio, il noto trattato di G. A. Breymann (*Allgemeine Baukonstruktionslehre*, Lipsia, 1881) dedica ampio spazio ai solai misti in acciaio e laterizio e il terzo volume dell'opera, curato da O. Koniger (*Die Konstruktionen in Eisen*, edito anche autonoma-



Solai in acciaio-laterizio con elementi speciali sagomati a incastro (G.A. Breymann, *Baukonstruktionslehre*, Band I, *Stein*, ed. di Karlsruhe, 1903).

Solai in acciaio e laterizio (G.A. Breymann, *op. cit.*).

mente, Lipsia, 1902), contiene un completo procedimento di calcolo di dimensionamento delle travi a doppia T secondo il metodo delle tensioni ammissibili, mentre non si trovano sostanziali indicazioni per il dimensionamento delle voltine in laterizio interposte o dei sistemi con laterizi speciali.

Koniger propone il dimensionamento rispetto a una tensione "di sicurezza" di 800 dN/cm² e correda il trattato con una fra le prime tavole contenenti i valori del modulo di resistenza e del momento di inerzia delle travi a doppia T in acciaio.

Questa metodologia è quindi proposta nella maggior parte dei manuali della prima metà del Novecento. Per esempio, il testo di F. Masciari-Genoese (*Trattato di costruzioni antisismiche*, Hoepli, Milano, 1915, pp. 563-564) suggerisce che l'altezza della sezione delle travi a doppia T in acciaio

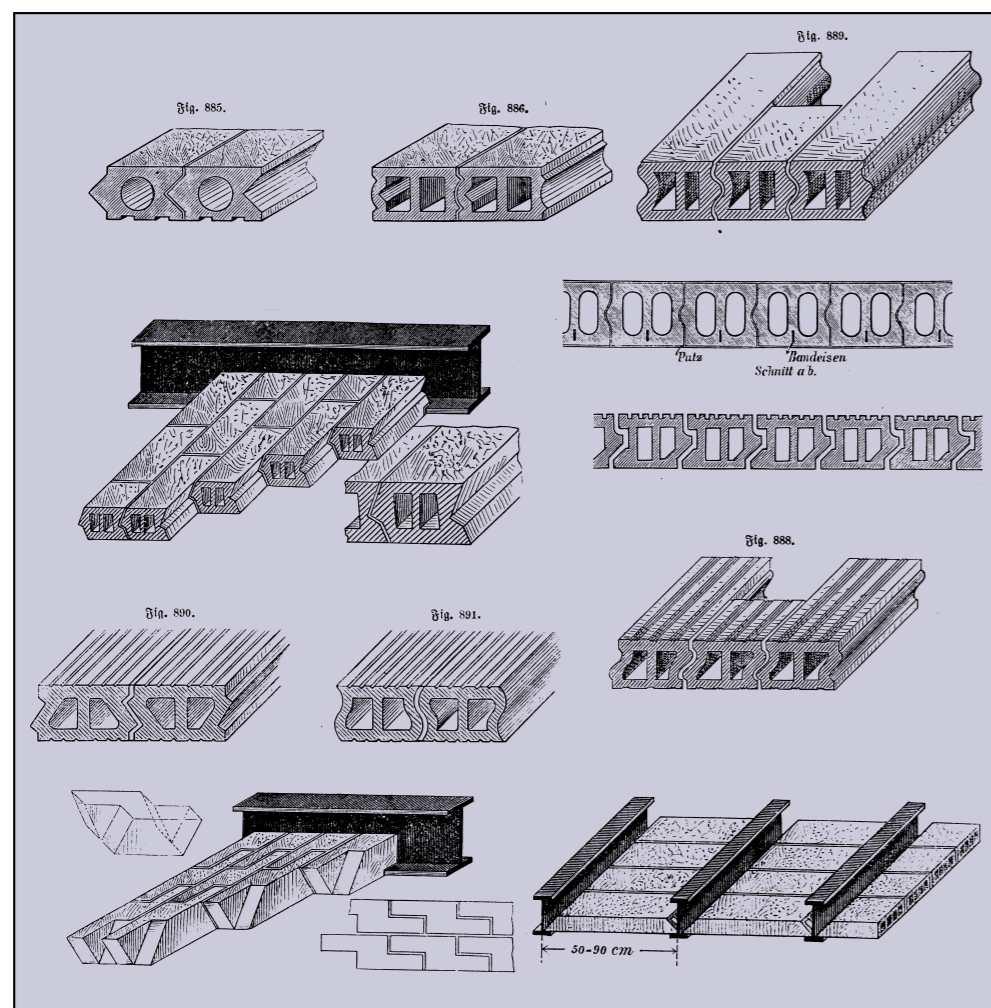
per solai sia impostata fra 1/30 e 1/35 della luce e quindi verificata assumendo come riferimento valori tensionali compresi fra 800 e 1.000 dN/cm². Fra la fine dell'Ottocento e la prima metà del Novecento, in Italia, il solaio in acciaio-laterizio con voltine interposte, trova impiego soprattutto negli edifici industriali e nelle situazioni di gravoso impegno statico mentre, successivamente, dopo la seconda guerra mondiale inizia il declino a favore dei solai in latero-cemento, settore in cui il nostro Paese sarà all'avanguardia.

Nell'edilizia nazionale del secondo dopoguerra le strutture in acciaio sono soprattutto utilizzate nelle costruzioni industriali e in alcuni sporadici tentativi di edilizia residenziale, come, per esempio, il complesso di Piombino, il quartiere di Genova-Pra (1961) o il complesso di Taranto (1968).

La scarsa presenza di minerali di ferro rende poco economica la produzione degli acciai, generando un rallentamento nella ricerca dei possibili impieghi, anche se la maggior parte dei testi tecnico-pratici non mancano di riportare capitoli sull'acciaio, esempi di solai misti acciaio-laterizio e tabelle sulle caratteristiche delle sezioni dei profilati.

In generale, nella consuetudine costruttiva italiana l'acciaio è utilizzato soprattutto per travi di rinforzo, pilastri e travi reticolari, inserito nel contesto dell'edificato in muratura o come parti nelle costruzioni a telaio in calcestruzzo armato, mentre l'uso della struttura a telaio in acciaio appare poco diffuso nell'edificato residenziale.

Il connubio travi in acciaio ed elementi in laterizio, avvenuto nell'Ottocento, viene attuato con l'inserimento di voltine in mattoni pieni inserite fra



Tipologie di blocchi per solai misti acciaio-laterizio (G.A. Breymann, *op. cit.*).

le travi in acciaio, prima a T rovesciata e quindi a doppia T, soluzione interessante dal punto di vista strutturale ma laboriosa nell'esecuzione in quanto richiede la realizzazione di centinata mobile. Con il miglioramento della produzione di blocchi forati in laterizio si supera il problema della presenza della centinata, sostituita da un impalcato provvisorio, realizzando elementi sagomati in modo tale da assumere la configurazione a piattabanda, a loro volta sostituiti dai tavelloni forati che, pur riducendo l'interasse fra le travi, consentono una più rapida esecuzione.

Nella seconda metà degli anni Sessanta P. L. Ghittoni (Il connubio laterizio-acciaio nella nuova tecnica edilizia, relazione presentata al 9° Congresso Nazionale Edilizia e Abitazione, Taranto, 5-9 giugno, 1966) rilevava come esistessero "dubbi e prevenzioni" sull'uso dell'impiego misto

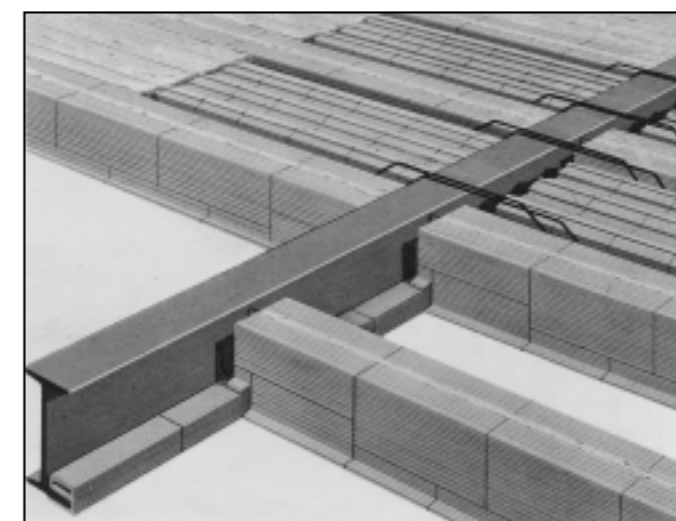
acciaio-laterizio, derivato da un "difetto di informazione" e anche da preconcetti, nonché una certa inerzia per modificare soluzioni collaudate e di immediata riduzione dei costi.

Dagli anni Ottanta in avanti si è riacceso in Italia l'interesse per i solai in acciaio con sovrastante lamiera grecata e getto di calcestruzzo collaborante, per le maggiori prestazioni ottenibili, in particolare per la maggiore possibilità di disporre anche a posteriori partizioni interne, risultando risolto lo spinoso problema della resistenza al fuoco ("spruzzo" di miscele cementizie isolanti all'intradosso e pannelli di controsoffitto, con il relativo spazio utile per gli impianti). Anche il solaio in acciaio e laterizio, nelle attuali riletture, dimostra consistenti vantaggi soprattutto quando sono richieste elevate prestazioni rispetto ai carichi (in connubio al sovrastante getto di calcestruzzo armato) e

la necessità di controsoffittare gli intradossi per inserire gli impianti. Inoltre l'utilizzo di connettori infissi all'estradosso delle travi in acciaio, uniti all'armatura del sovrastante getto, consente elevate prestazioni anche con sezioni contenute delle travi in acciaio. I connettori, in particolare quelli con chiodatura pneumatica dell'ultima generazione, si stanno inoltre rivelando di particolare interesse anche nel riuso di solai in acciaio e laterizio.

L'interasse fra le travi in acciaio è attestato sul valore di 45÷50 cm utilizzando i tavelloni da 45x20 cm (con spessori da 5 a 8 cm); tuttavia inserendo un adeguato getto di calcestruzzo armato, con o senza connettori alle travi in acciaio, l'interasse può aumentare fino al limite massimo di 120 cm, utilizzabile per le coperture inclinate non praticabili.

Le travi a doppia T, ma anche a C, reti-



Solaio con travi in acciaio a doppia T e travetti in laterizio (catalogo RDB, Piacenza, 1950).

Solaio in acciaio e laterizio. Sistema inglese King Floor, con laterizi "tubolari" sagomati per innestarsi fra le "ali" inferiori delle travi in acciaio a doppia T.



colari o "ad anima traforata" in lamiera saldata, ecc., devono soprattutto essere dimensionate rispetto al contenimento delle deformazioni, determinando proporzionamenti delle sezioni superiori rispetto a quelle derivate dal controllo delle tensioni ammissibili.

La freccia in generale non deve essere superiore a 1/500 della luce, e anche 1/600, rispetto ai carichi complessivi, al fine di avere elementi inflessi sufficientemente rigidi in modo da essere compatibili con la bassa deformabilità degli elementi in laterizio.

Comunque il contenimento della freccia è oggi il parametro più significativo e diviene indispensabile nella previsione della realizzazione di partizioni interne sopportate dal solaio. In tale ottica la metodologia più rapida di dimensionamento è determinata dalla ricerca del momento di inerzia, rispetto a una freccia imposta

e ai carichi complessivi, seguita dalla prima verifica di massima sommando il peso proprio della trave:

$$j_x = k \frac{1}{E f_{imposta}}$$

dove:

j_x = momento di inerzia della sezione

k = coefficiente in funzione delle condizioni di vincolo, carico e luce

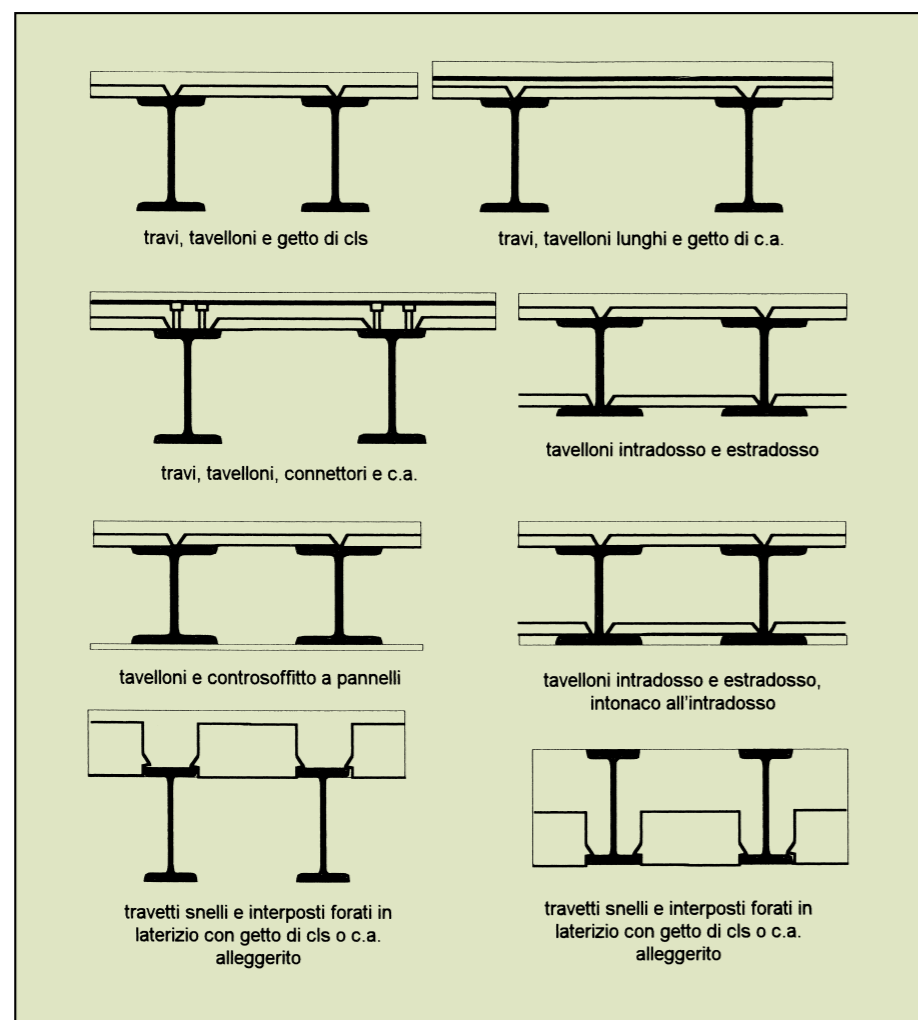
E = modulo di elasticità dell'acciaio

$f_{imposta}$ = freccia imposta variabile fra un 1/500 e 1/600 della luce.

È necessario verificare se la profondità di appoggio delle travi nei piedritti di sostegno è adeguata soprattutto rispetto al materiale costituente i piedritti stessi. In generale per le murature è sempre auspicabile l'inserimento di un cordolo in calcestruzzo armato, oppure altro sistema di ripartizione, per esempio una trave in acciaio, tranne nei casi di muratura di

consistente spessore (oltre le tre teste di mattone). Il cordolo diviene indispensabile in presenza di murature portanti in blocchi termoisolanti alleggeriti e anche in calcestruzzo forati, sempre che lo spessore non sia tale da permettere una ampia superficie di appoggio delle travi in acciaio. In Italia però si è persa la consuetudine costruttiva di murature portanti di grosso spessore a favore di muratura multistrato, con setto portante ridotto ai minimi consentiti e stratificazioni di isolamento, paretine, ecc.

Viceversa l'attuale tendenza europea per le costruzioni in muratura portante appare sempre più orientata verso setti di consistente spessore con blocchi portanti termoisolanti modulari (tali da permettere la realizzazione di muri a due e tre teste) con dimensioni di 40÷50 cm. Tale soluzione consente di risolvere il problema dell'appoggio dei solai e dell'i-



Tipologie di solai misti acciaio-laterizio.

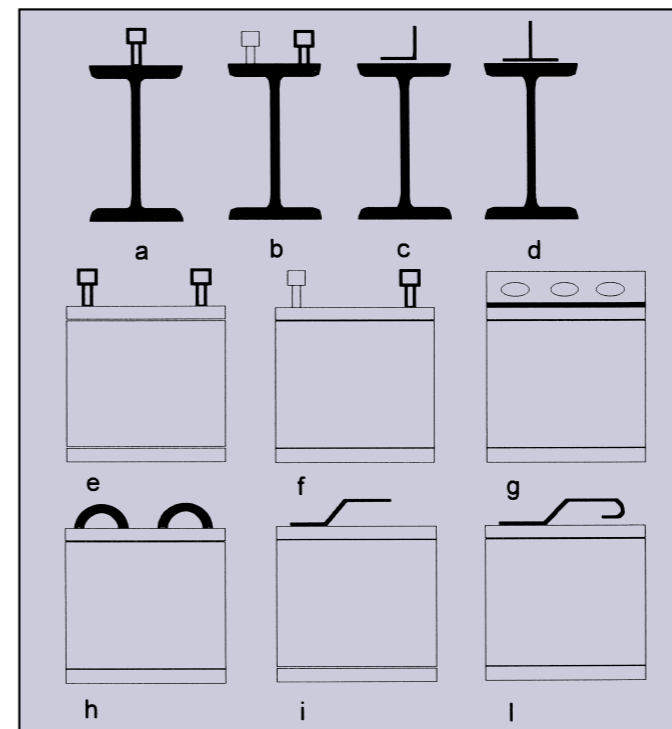
solamento termoacustico, senza ricorrere alle stratificazioni, e garantisce una maggiore efficacia del paramento murario rispetto ai carichi.

La sovrastante soletta in calcestruzzo armato è da considerarsi come sovraccarico, mentre, inserendo i connettori, questi contrastano le forze di scorrimento tra la trave e la soletta, realizzando una sezione mista acciaio-calcestruzzo in cui il lembo superiore in calcestruzzo è soggetto a compressione e buona parte della sezione in acciaio è soggetta a trazione, mentre il laterizio interposto funge da cassaforma per il getto e da alleggerimento.

Diverse sono le tipologie di connettori, ma i più diffusi sono quelli a piolo saldato alla trave, oppure quelli "infixi" meccanicamente nell'acciaio. In generale i connettori sono di altezza pari a circa 2/3 dello spessore del getto.

Lo spessore minimo della soletta in calcestruzzo armato è di circa 5 cm, mentre lo spessore delle ali delle travi in acciaio, per l'utilizzo dei connettori, non deve essere inferiore ai 5 mm. Per la determinazione delle caratteristiche della sezione composta, il procedimento, in sede di dimensionamento, si svolge ammettendo valida l'ipotesi di Navier sulla conservazione delle sezioni piane in campo elastico e quindi la validità della legge di Hooke sulla diretta proporzionalità, sempre in campo elastico, fra sforzi e deformazioni. Imponendo tali condizioni la sezione composta acciaio-calcestruzzo, escludendo la presenza del tavellone in laterizio, può essere considerata teoricamente omogenea in riferimento al rapporto di omogeneizzazione fra i moduli di elasticità dell'acciaio e del calcestruzzo, e procedendo quindi secondo la metodologia usuale per le sezioni composte

- Esempio di alcuni tipi di connettori:
- a) piolo in acciaio saldato alla trave;
 - b) connettori "infixi" meccanicamente nelle ali;
 - c) connettore continuo con angolare saldato con parte superiore piena o forata;
 - d) connettore continuo con profili a T rovesciata saldato all'estradosso della trave;
 - e) prospetto connettori disposti lungo l'asse baricentrico della sezione della trave;
 - f) prospetto connettori disposti sfalsati sulle ali;
 - g) prospetto connettore continuo con lama forata;
 - h) prospetto connettori discontinui "ad anello";
 - i) g) connettori "a staffa".



Intervento di ristrutturazione di un solaio acciaio-laterizio con connettori a chiodatura pneumatica (per gentile concessione dell'archivio Tecnaria S.p.A., Buzuno, Vicenza).



acciaio-calcestruzzo. Numero e dimensione dei connettori viene determinato verificando che lo sforzo di scorrimento fra le due sezioni (trave in acciaio e calcestruzzo) agente nel singolo connettore sia inferiore alla resistenza ammissibile a taglio del piolo.

La realizzazione delle solette miste acciaio-laterizio-calcestruzzo può essere eseguita con o senza rompitratta provvisori.

Nel primo caso, fino a maturazione del calcestruzzo, il carico del getto è sopportato dai tavelloni interposti e dalle travi in acciaio e i connettori, se presenti, non svolgono alcuna funzione. In questa condizione i tavelloni devono essere quelli di minore lunghezza (max 45 cm e 5÷8 cm di spessore) dato che si tratta di un materiale con tensione di rottura a flessione variabile fra 45 e 59 dN/cm², ed è quindi necessario dimensionare le

travi in acciaio come se la soletta non fosse collaborante, sapendo che a maturazione avvenuta aumenta la rigidità del solaio.

Il sistema di costruzione con rompitratta provvisori, mantenuti durante tutta la fase di maturazione del calcestruzzo, trasforma le travi in acciaio in travi continue con numero di appoggi pari al numero di puntelli provvisori e ai due appoggi terminali, determinando momenti negativi in corrispondenza degli appoggi provvisori intermedi e momenti positivi fra gli appoggi di valore ovviamente inferiore a quello corrispondente alla trave a due appoggi.

Con l'eliminazione dei puntelli provvisori, ad avvenuta maturazione del calcestruzzo, entra in funzione la soletta mista acciaio-connettori-calcestruzzo, e quindi si sfruttano i vantaggi del sistema con i connettori in termini di riduzione delle sezioni resistenti del-

l'acciaio o di maggiore rigidità del solaio.

La ricerca, in questo specifico settore, è sorprendentemente aperta a nuove soluzioni; per esempio verso nuovi laterizi appositamente disegnati per solai con travi in acciaio a doppio T, con intradosso liscio o rigato che può essere lasciato a vista, sfruttando il connubio fra l'acciaio e il colore del laterizio, oppure tornando a produrre laterizi "curvi" da interporre fra le travi a doppio T, realizzando solai con pseudo-voltine.

Rispetto al sistema con la lamiera grecata, il solaio acciaio-laterizio dimostra un costo più contenuto e qualche vantaggio rispetto all'isolamento termico e acustico, ma soprattutto rappresenta "l'alternativa" che si oppone al cristallizzarsi delle soluzioni costruttive entro stereotipi generazionali. ¶