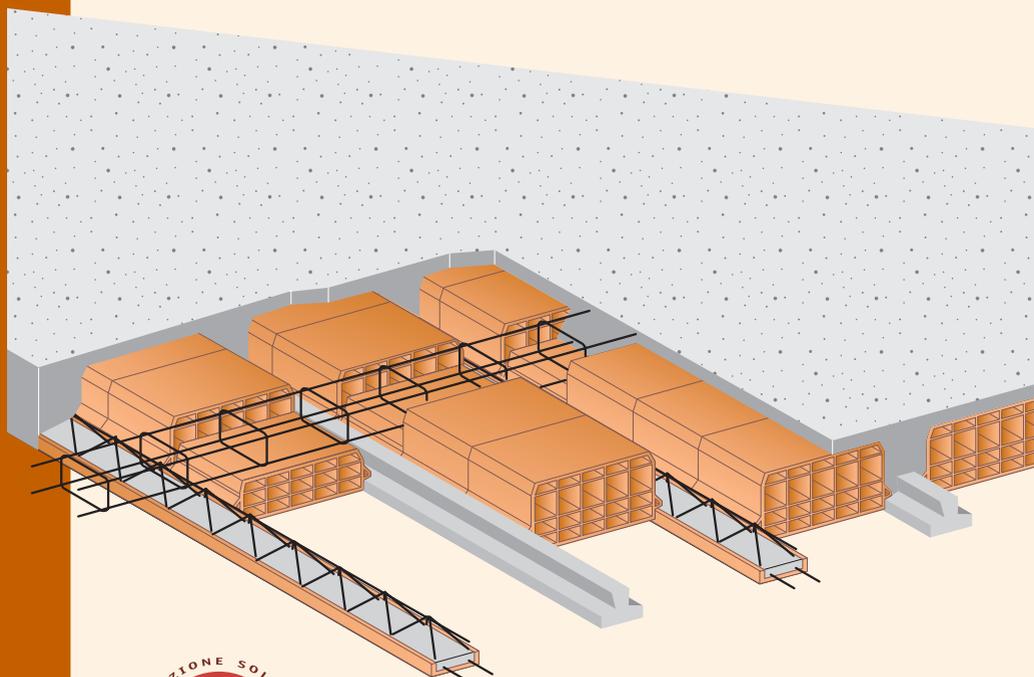


Vincenzo Bacco

Solaio in latero-cemento

Confronto con sistemi alternativi

2



PRODUTTORI ANELI
ASSOLATERIZI

Indice

Premessa	pag. 3
Descrizione	pag. 4
Rispondenza alla normativa	pag. 7
Caratteristiche costruttive	pag. 21
Caratteristiche strutturali	pag. 28
Modalità di puntellamento provvisorio	pag. 33
Unione alla struttura portante	pag. 35
Modalità di completamento	pag. 39
Modalità di rifinitura all'intradosso	pag. 44
Prestazioni	pag. 45

Castorizio, il castoro del solaio in laterizio

Altre informazioni per progettare e costruire in modo rapido e corretto qualsiasi tipo di solaio in laterizio, notizie su prodotti e certificazioni, programmi di calcolo, soluzioni conformi, realizzazioni esemplari, sono riportati all'interno del sito www.solaioinlaterizio.it.



Premessa

E' nella logica del mercato che un sistema costruttivo che abbia raggiunto un alto grado di impiego in edilizia - è il caso del solaio in laterizio nelle sue diverse, note tipologie: gettato in opera, a travetti e blocchi, a pannelli e a lastre - sia continuamente "aggredito" da parte di prodotti e sistemi alternativi che si propongono di surrogarlo. E' pur vero che il sistema "solaio", qualunque sia la tecnica costruttiva impiegata, data la sua rilevanza funzionale all'interno dell'organismo edilizio, è fortemente presidiato da una articolata serie di normative che ne regolamentano le diverse, complesse prestazioni che è chiamato ad assicurare e mantenere inalterate nel tempo: strutturali, termo-igrometriche, acustiche, di resistenza all'incendio, ecc. In tal senso, il solaio in latero-cemento, sottoposto a decenni di collaudi, con milioni di metri quadrati di orizzontamenti realizzati in ogni tipologia di edilizia costruita, ha sempre dimostrato di essere in grado di adeguare materiali, forme e tecniche applicative per rispettare requisiti e verifiche progettuali contemplati nelle diverse normative in costante evoluzione.

A tale proposito può risultare interessante analizzare come il solaio in laterizio sia in grado di dare efficace risposta, contemporaneamente, ad un complesso di esigenze non sempre compatibili tra loro: si pensi, ad esempio, alla necessità di un comportamento strutturale rigido per distribuire equamente le forze gravanti su un solaio, soprattutto in caso di sollecitazioni sismiche, in netto contrasto con la richiesta di isolamento termico o di protezione acustica degli ambienti abitati, governati, questi ultimi, da regole fisiche di tutt'altra natura.

Può essere altrettanto stimolante accertare come i sistemi, cosiddetti, alternativi al solaio in latero-cemento - nello specifico, solai con blocchi in materiali a bassissima densità o con blocchi di calcestruzzo alleggerito - se la "cavino" nell'assicurare e mantenere analoghi livelli prestazionali.

Proprio da una tale verifica, puntigliosamente svolta da Vincenzo Bacco, scaturiscono le considerazioni riportate nelle pagine che seguono. Valutazioni critiche, incernierate su specifici "punti di osservazione", corrispondenti ai più importanti parametri tecnici e costruttivi che inevitabilmente occorre tenere presenti nella progettazione e nella realizzazione di un solaio.

E più precisamente:

- rispondenza alla normativa
- caratteristiche strutturali
- aspetti esecutivi
- unione alla struttura portante
- modalità di completamento e finitura
- prestazioni finali.

Il solaio in latero-cemento e i sistemi alternativi vengono posti a confronto, senza riserve, con rigore analitico, valutando come ogni problematica presa in esame venga da essi soddisfatta e in che misura, sottolineando punti di forza e di debolezza dell'uno e degli altri.

Un lavoro interessante, dunque, soprattutto per i progettisti che, ogni volta, devono operare una scelta, assumendosene la piena responsabilità.

Ma anche una preziosa occasione per rimarcare complessità normative, esigenze tecniche e modalità esecutive di un sistema costruttivo, il solaio appunto, il cui fondamentale ruolo nell'organizzazione di un edificio raramente viene correttamente considerato e valorizzato.

Michele Marconi

Presidente della Sezione Andil "Prodotti in laterizio per solai"

Descrizione

Si definisce solaio misto in **latero-cemento** il sistema costruttivo utilizzato per la realizzazione di strutture orizzontali, formato dalla associazione di calcestruzzo, acciaio e blocchi di laterizio aventi funzione principale di alleggerimento.

Si possono individuare tre tipologie:

- 1) solaio da gettarsi in opera (fig. 1);
- 2) solaio misto semiprefabbricato a travetti in cemento armato e blocchi in laterizio (fig. 2);
- 3) solaio misto semiprefabbricato a pannelli o a lastre con alleggerimento in laterizio (figg. 3.a, 3.b, 4).

Fig. 1 - Solaio da gettarsi in opera.

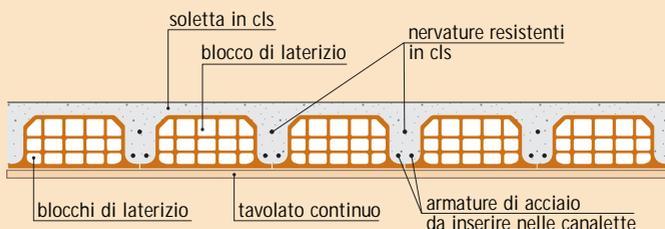


Fig. 2 - Solaio misto a travetti prefabbricati e blocchi interposti di laterizio. I travetti possono essere in c.a. normale o in c.a. precompresso.

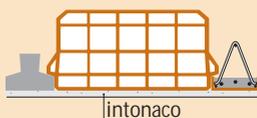
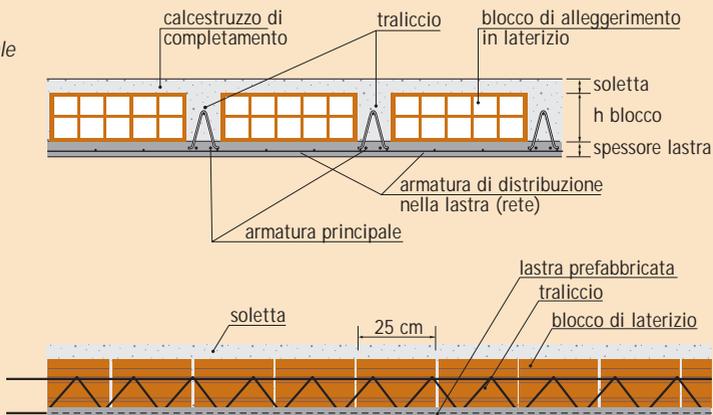


Fig. 3.a - Solaio a lastre in c.a. normale e alleggerimento in laterizio.



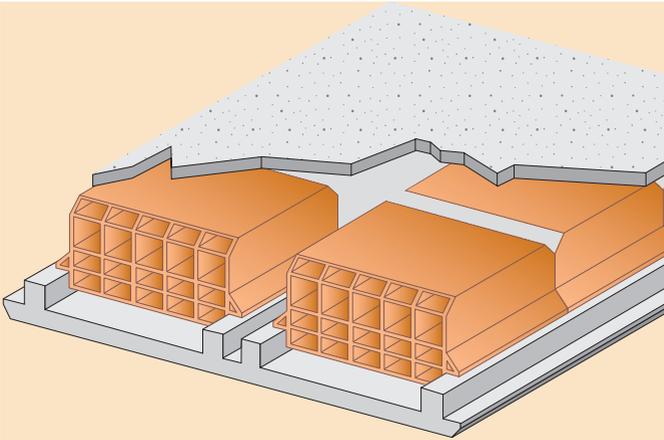


Fig. 3.b - Solaio a lastre in c.a. precompresso irrigidito da nervature con alleggerimento in laterizio.

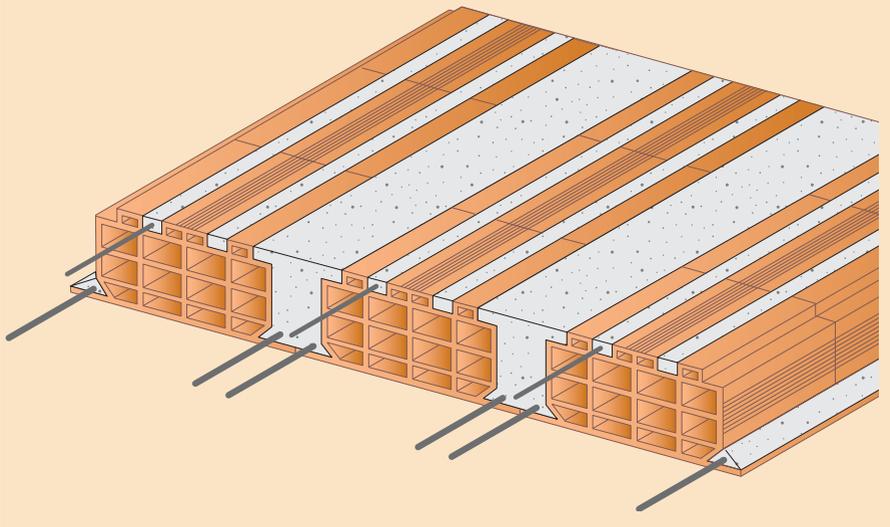


Fig. 4 - Solaio a pannelli prefabbricati.

I tre tipi di solaio prevedono la struttura resistente sempre in calcestruzzo armato, mentre attribuiscono al laterizio prevalente funzione di alleggerimento.

Vantaggi di un sistema costruttivo conosciuto

L'ottima affinità con il calcestruzzo, presentata dal laterizio, e una collaudata tecnologia costruttiva, semplice, affidabile e perfezionata sempre di più nel tempo, e soprattutto l'ottima capacità di risposta a tutti i requisiti prestazionali richiesti da un edificio, hanno reso questo sistema molto valido al punto da rappresentare la quasi totalità dei solai impiegati nell'edilizia civile.

Le maestranze, che attualmente operano nel campo delle costruzioni, infatti, conoscono molto bene il sistema (con le sue varianti), e questa conoscenza rappresenta un grande vantaggio, poiché:

- rende molto facile e immediata ogni operazione costruttiva;
- consente di prevedere tutte le possibili situazioni e di individuare le soluzioni più idonee;
- favorisce la buona organizzazione del cantiere;
- permette, in molti casi, di trovare la risposta anche a problemi inusuali.

Al contrario, una tecnologia o un sistema poco conosciuti:

- rendono insicure le fasi di lavorazione poiché la mancanza di pratica costruttiva non mette a disposizione dell'operatore la serie di operazioni consequenziali e collaudate, che consentono di raggiungere, senza errori, il risultato voluto;
- non permettono di affrontare nuove situazioni o difficoltà improvvise o esigenze costruttive diverse perché non si possono prevedere, con facilità, gli effetti delle interferenze con altre parti della costruzione;
- creano delle incognite, nelle fasi di organizzazione del cantiere, a causa del possibile diverso trattamento che i materiali esigono sia nello stoccaggio che nelle movimentazioni o nelle modalità di posa in opera;
- impediscono di discostarsi dalle strette modalità esecutive previste per il loro impiego e quindi sono molto rigidi dal punto di vista operativo.

Rispondenza alla normativa

La conformità di un solaio è assicurata, soprattutto, dal rispetto delle normative specifiche.

Nella pratica, è di fatto la normativa di tipo strutturale che determina la scelta della tipologia di solaio da impiegare.

Tale normativa è rappresentata principalmente da:

- D.M. 09/01/96 che dedica un apposito capitolo al solaio (cap. 7) prevedendo sia l'impiego di blocchi di alleggerimento in laterizio che blocchi prodotti con materiale alternativo;
- D.M. 16/01/96 che si occupa dei carichi e sovraccarichi sulle costruzioni;
- D.M. 03/12/87 che riguarda prevalentemente le strutture prefabbricate;
- Norma UNI 9730 ("norma di prodotto") che si riferisce esclusivamente ai blocchi di laterizio e alle loro caratteristiche;
- Ordinanza n. 3274/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri, che regola i procedimenti costruttivi nelle zone sismiche;
- prEN 15037-2, norma europea ancora in fase di preparazione (anch'essa "norma di prodotto") che si riferisce ai blocchi di alleggerimento.

Normativa di riferimento

E' da premettere che il solaio in latero-cemento (gettato in opera o semiprefabbricato), in qualità di struttura in conglomerato cementizio, è soggetto alla Legge 5/11/71 n. 1086 e, come tale, il suo impiego (in special modo per le parti di calcestruzzo) richiama in corresponsabilità, in ogni singolo fabbricato:

- il produttore di ogni componente, che assume le responsabilità del costruttore per quanto di competenza del componente stesso;
- il direttore del cantiere di prefabbricazione dei componenti di calcestruzzo armato, che assume le corresponsabilità proprie del direttore dei lavori (per quanto di sua competenza);
- il redattore dei calcoli statici (forniti dal produttore dei componenti prefabbricati) che, quando non diversamente specificato, assume le responsabilità del progettista strutturale.

Responsabilità

Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, in realtà, è il progettista strutturale del prefabbricato, a cui è destinata la fornitura, che deve fare propri i calcoli giustificativi proposti dall'azienda e assumersene la completa responsabilità, in quanto è il solo in grado di valutare l'organico inserimento del componente prefabbricato (travetti, lastre con alleggerimento in laterizio, pannelli in laterizio) nella struttura generale del fabbricato.

Componenti strutturali diversi dal cemento armato non seguono analoghe regole. Questo aspetto può essere assunto come motivo di pregio per un solaio in latero-cemento in quanto l'obbligo di accompagnarlo con idonee certificazioni è motivo di dimostrazione della perfetta conoscenza tecnica del prodotto e quindi della sicurezza di impiego.

Tutte queste assunzioni di responsabilità devono essere assicurate da documenti firmati dalle varie figure professionali.

**Rispetto del D.M. 09.01.96:
norme complementari relative ai solai**

Il cap. 7 distingue, al suo interno, per i solai misti, due possibilità:

- 1) solai misti in c.a. e c.a.p. e blocchi forati in laterizio (dall'art. 7.1.1 all'art. 7.1.6.3)
- 2) solai misti in c.a. e c.a.p. e blocchi diversi dal laterizio (dall'art. 7.2.1 all'art. 7.2.6).

Scendendo nel dettaglio:

- l'art. 7.0 espone le generalità e le classificazioni. In tale articolo le tre tipologie di solaio in laterizio, prima descritte, sono classificate come **"solai misti in c.a. e/o c.a.p. e blocchi di laterizio"**.

I blocchi di laterizio, a loro volta, pur essendo considerati come elementi aventi funzione di alleggerimento, possono essere:

- **blocchi non collaboranti (categoria A)**
- **blocchi collaboranti (categoria B).**
- L'art. 7.1.1 individua, infatti, due categorie di solaio in laterizio:
 - a) solai con blocchi aventi funzione principale di alleggerimento (non collaboranti);
 - b) solai con blocchi aventi funzione statica in collaborazione con il conglomerato.

Nel primo caso, i blocchi hanno soltanto funzione di alleggerimento, cioè non è permesso di tenere conto, nel calcolo, del loro contributo alla statica dell'insieme.

Nel secondo caso, la norma permette loro di "contribuire" alla formazione delle caratteristiche meccaniche della sezione resistente (cioè vengono tenute in conto, nel calcolo del momento di inerzia, le pareti orizzontali e verticali nonché i setti interni) e quindi danno una collaborazione statica, oltre ad alleggerire il manufatto.

Un esempio di come il laterizio influisce nel valore della inerzia è dato dalla fig. 5a e fig. 5b.

Fig. 5.a - Sezione resistente in campata con e senza la partecipazione del laterizio.



Fig. 5.a

Fig. 5.b - Sezione resistente in zona a momento negativo con e senza la partecipazione del laterizio.

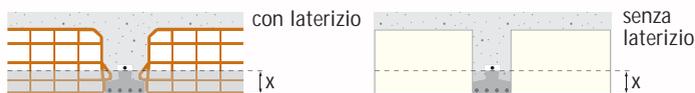


Fig. 5.b

E' da notare, come si vedrà in seguito, che i blocchi partecipano comunque alla resistenza meccanica del solaio; solo che, nel caso di blocchi di categoria B, la norma, come si è già visto, permette di tenerne conto, mentre, nel caso di blocchi di categoria A, il contributo non viene preso in considerazione nel calcolo.

Nelle zone a bassa sismicità si può, addirittura, impiegando blocchi di categoria B, omettere di realizzare la soletta superiore (e affidare tutto alla soletta rinforzata del blocco di laterizio), purché vi sia un dispositivo sui blocchi che assicuri il collegamento dell'uno con l'altro e la conseguente possibilità di trasmettere gli sforzi orizzontali.

Rimane, comunque, una riserva di sicurezza che gli altri materiali, adoperati per le stesse funzioni, non sono in grado di assicurare.

Tale riserva è prevista proprio dagli articoli 7.1.2 e 7.1.3 che indicano alcuni requisiti a cui devono attenersi i blocchi di laterizio dei due tipi; requisiti che impongono agli stessi determinate prestazioni, e che immancabilmente si traducono in vantaggi per la struttura, una volta posta in opera. Va sottolineato che l'attenzione che la normativa dedica ai blocchi di laterizio deve essere considerata come evidenziazione di tutte quelle proprietà che deve avere un elemento di alleggerimento inserito in una struttura portante, quale è quella del solaio.

A dimostrazione di quanto sopra, il paragrafo 7.2, che si riferisce ai blocchi di alleggerimento diversi dal laterizio, prescrive prima di tutto la rispondenza di questi a quanto previsto nel paragrafo 7.1 (cioè quello relativo ai blocchi di laterizio), con, in più, delle disposizioni particolari relativamente al tipo di materiale e alle sue intrinseche particolarità.

Ritornando agli articoli 7.1.2 e 7.1.3, essi prescrivono requisiti comuni per entrambi i tipi di blocco in laterizio e requisiti particolari per ciascuno dei due. Per i requisiti comuni è previsto che:

- 1) il profilo delle pareti laterali che delimitano le nervature resistenti (fig. 6.a) individuino delle sezioni adeguate per tali nervature e favoriscano il corretto getto del calcestruzzo;
- 2) le forme siano semplici, caratterizzate da setti rettilinei e allineati (particolarmente quelli che sono in direzione orizzontale), con setti aventi un rapporto spessore/lunghezza il più possibile uniforme;
- 3) gli spessori delle pareti perimetrali (orizzontali e verticali) del blocco, di categoria A o di categoria B, così come gli spessori delle altre pareti orizzontali che nell'organizzazione statica del solaio saranno compresse (blocchi di categoria B), siano non minori di mm 8 (figura 6b);
- 4) lo spessore dei setti interni sia non minore di mm 7 (fig. 6b);
- 5) la percentuale di foratura sia limitata (in base all'altezza) e che comunque sia:
 - $\sigma \leq 0,6 + 0,625 (h \text{ in metri})$;
 - $\sigma \leq 75\%$
 assumendo il valore minore dei due.

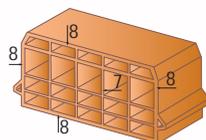


Fig. 6.a - Blocco di categoria A (misure in mm).

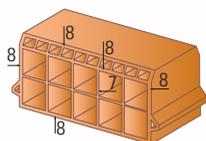
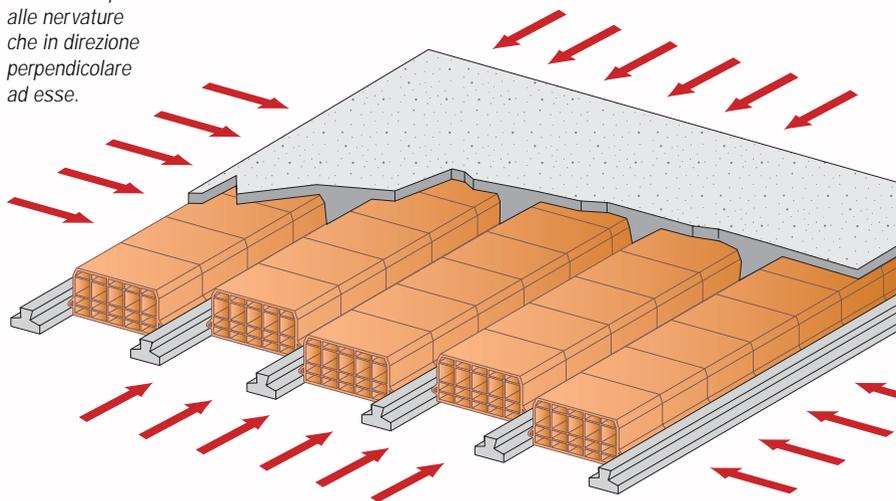


Fig. 6.b - Blocco di categoria B (misure in mm).

Caratteristiche dimensionali dei blocchi in laterizio

Fig. 7 - I blocchi garantiscono una trasmissione delle forze orizzontali sia in direzione parallela alle nervature che in direzione perpendicolare ad esse.



- Il rispetto delle disposizioni descritte nei precedenti punti 2, 3 e 4 permette al blocco di garantire una trasmissione delle forze orizzontali che possono insorgere, nel solaio, in direzione parallela alle nervature oppure in direzione perpendicolare ad esse:
- nel primo caso intervengono lo spessore dei setti e la percentuale di foratura;
 - nel secondo caso sono determinanti, invece, l'allineamento e la continuità dei setti orizzontali, la snellezza dei setti (rapporto spessore/lunghezza) e ancora la percentuale di foratura (fig. 7).

Mentre tali caratteristiche sono soddisfatte molto bene dai blocchi di laterizio, per blocchi di altro tipo di materiale non sempre è possibile garantire la trasmissione degli sforzi, sia per cause insite nello stesso materiale (composizione, densità della materia prima, ecc.), sia per la loro conformazione geometrica.

Resistenza a punzonamento flessione

6) in assenza di cassero continuo inferiore, durante la fase di preparazione e getto, tutti i blocchi debbano resistere ad un carico di 1,5 kN (fig. 8.a).

Questo tipo di resistenza, detta di "punzonamento - flessione", garantisce che il piano di lavoro sia pedonabile con una certa sicurezza e che sia in grado di reggere i carichi dovuti alle operazioni di preparazione e completamento del solaio.

Inoltre tale resistenza è essenziale per i carichi punzonanti del solaio finito (secondo il D.M 16/01/96 "carichi e sovraccarichi", prospetto 5.1). Il solaio in laterizio, infatti, risponde bene a tale prescrizione anche in assenza di soletta di calcestruzzo (fig. 8.b).

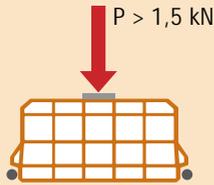


Fig. 8.a - Il blocco da impiegarsi in assenza di cassero continuo deve resistere a un carico punzonante di 1,5 kN.

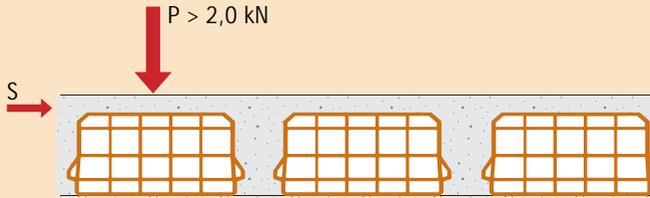


Fig. 8.b - Il D.M. 16/01/96, prospetto 5.1, prevede per un solaio per civile abitazione la necessità di resistere ad un carico concentrato maggiore di 2,0 kN.

La presenza di un blocco di laterizio, che già di per sè resiste a un carico di 1,5 kN, rende vana tale verifica. Inoltre, in caso di forze orizzontali, l'aderenza calcestruzzo-laterizio e le rigature della faccia superiore del blocco costituiscono vincolo per la soletta e ne impediscono lo scorrimento e il distacco.

Il requisito "resistenza a punzonamento - flessione" deve essere rispettato anche da tutti i tipi di blocco diversi dal laterizio (art. 7.2.4).

Questi ultimi, in molti casi (ad esempio, sostanze plastiche o calcestruzzi con inerti leggeri), sono costretti ad associarsi a dispositivi di diverso materiale o al calcestruzzo normale, con notevoli conseguenze negative per altre prestazioni che il solaio è chiamato comunque a soddisfare (figg. 9.a e 9.b).

Alcuni tipi di blocco, quindi, possono non dare sufficienti garanzie:

- sia per il rispetto del carico minimo punzonante sull'impalcato in preparazione ($> 1,5$ kN): non è possibile per le tipologie di figg. 9.a e 9.b, ad esempio, pensare che siano in grado di sostenere un carico maggiore di 1,5 kN applicato al centro di due appoggi. Nel caso di fig. 9.a il blocco dovrebbe resistere alla flessione per quel carico; nel caso di fig. 9.b il sistema è labile. Ciò si traduce in una incertezza anche nella disposizione delle passerelle necessarie per la pedonabilità dell'impalcato in preparazione;
- sia per il rispetto del carico concentrato sul solaio finito (> 2 kN). Quest'ultimo deve essere sopportato da una soletta finita di 4-5 cm, avente una "luce" abbastanza grande rispetto allo spessore stesso (cioè un alto rapporto di snellezza tra luce e spessore) (fig. 9.c).

Fig. 9.a - Esempio di blocco in polistirolo irrigidito da due lamierini: verifica della resistenza a punzonamento mediante carico concentrato.

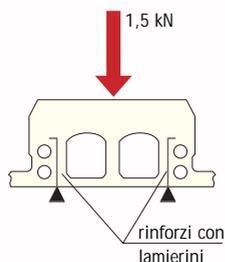


Fig. 9.a

Fig. 9.b - Esempio di blocchi di alleggerimento in calcestruzzo con inerti a base di residui vegetali. La rigidità viene data dal getto di calcestruzzo all'interno di apposite cavità.

Non è chiaro come si possa determinare la resistenza a punzonamento.

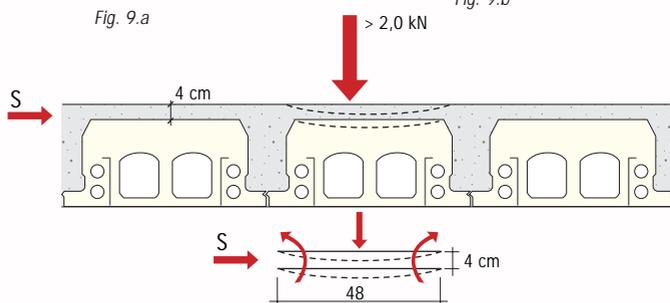


Fig. 9.c

Fig. 9.c - Per blocchi di alleggerimento a bassa densità è problematico il rispetto della resistenza a un carico punzonante, sul solaio, di 2 kN. Inoltre, in presenza di forze orizzontali trasversali, non vi è alcuna azione vincolante del blocco nei riguardi della soletta, che rischia di andare in carico di punta.

Non vi è, quindi, alcuna garanzia che questa soletta, libera di inflettersi, sia in grado di resistere alle sollecitazioni di flessione e taglio indotte dal carico di 2 kN. Inoltre, in presenza di forze orizzontali trasversali, questi tipi di blocchi non sono in grado di esercitare nessuna azione vincolante nei riguardi della soletta e questa rischia di perdere stabilità (per carico di punta).

Quest'ultimo problema non esiste per il laterizio perché la rugosità della sua faccia superiore, a contatto con il calcestruzzo, la presenza di eventuali scanalature, accompagnate dalla affinità del laterizio stesso al calcestruzzo e dalla indeformabilità del blocco anche a grossi carichi, fanno in modo che sia esercitata una azione di aggancio della soletta ad una parte rigida (eliminando il carico di punta).

7) il modulo elastico del laterizio non debba essere superiore a 25 kN/mm² per la esigenza di compatibilità deformativa con il calcestruzzo.

Poiché il requisito è sempre rispettato, il blocco di laterizio collabora in ogni caso col calcestruzzo, limitandone le deformazioni.

Per i blocchi diversi dal laterizio, quando siano collaboranti, l'art. 7.2.2 prevede un modulo di elasticità superiore a 8 kN/mm² e inferiore a 25 kN/mm².

Per blocchi diversi dal laterizio, non collaboranti, il modulo elastico deve essere inferiore a 8 kN/mm²;

8) siano previste limitazioni per:

- il coeff. di dilatazione termica lineare del laterizio ($\alpha > 6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
- il valore della dilatazione per umidità ($\gamma < 4 \cdot 10^{-4}$)

Coefficiente di dilatazione

Ciò per esigenze sempre di compatibilità del laterizio sia con il calcestruzzo che con l'intonaco.

Materiali diversi, usati per l'alleggerimento, che non soddisfino questi requisiti, presentano inevitabilmente una cattiva affinità con l'intonaco per cui necessitano di un diverso trattamento per la superficie di intradosso o l'ausilio di supporti ("primer", reti, controsoffittature, ecc.).

Sempre gli articoli 7.1.2 e 7.1.3 prescrivono requisiti particolari rispettivamente per i due tipi di blocchi di laterizio.

Blocchi di categoria A

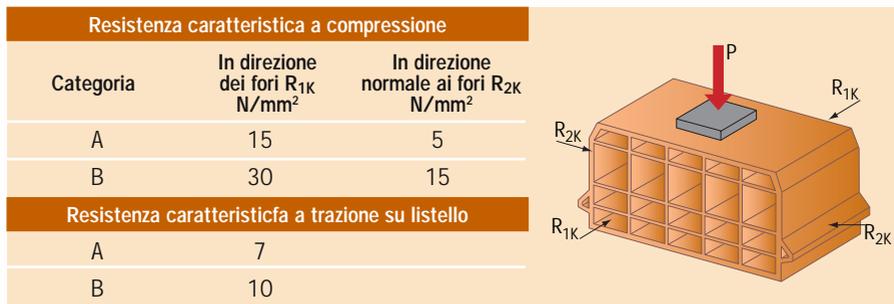
La resistenza caratteristica a compressione deve risultare non minore di:

- **15 N/mm² nella direzione dei fori**
- **5 N/mm² nella direzione trasversale ai fori e nel piano del solaio.**

Con queste resistenze, anche se il contributo del laterizio non viene tenuto in conto nei calcoli, si hanno delle riserve di portata che vanno sicuramente a vantaggio della sicurezza (fig. 10).

Resistenza caratteristica a compressione e trazione

Fig. 10 - Resistenze.



Si ha, inoltre, la garanzia di trasmissione delle forze orizzontali sia nella direzione delle nervature che in quella perpendicolare ad esse, consentendo al solaio di esercitare in maniera equilibrata la sua funzione di distribuire tali forze tra i pilastri (fig. 7).

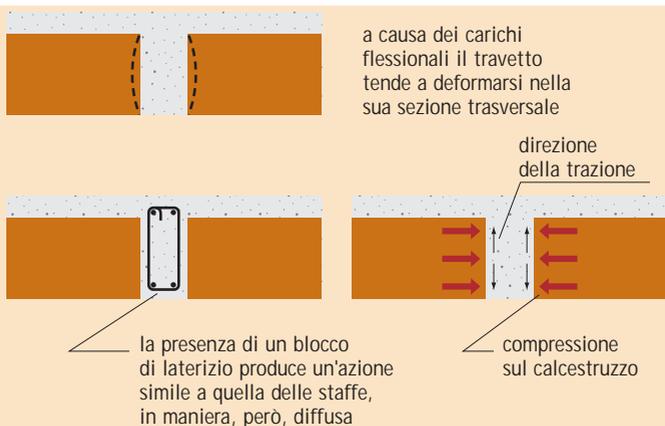
Questa prestazione, necessaria specialmente in zona sismica, non può essere esercitata in maniera così equilibrata da un solaio con alleggerimenti che non rispettino tali requisiti. In questi casi, tali forze (specialmente se in direzione perpendicolare a quella delle nervature), si trasmettono solo attraverso le solette superiori che sono di spessore esiguo e tendono a deformarsi fuori dal piano (fig. 9.c).

La resistenza caratteristica a trazione per flessione (sul listello) non deve essere minore di 7 N/mm².

Anche la resistenza a trazione del materiale costituente il blocco di laterizio è importante al fine del corretto comportamento statico del solaio. Infatti, le deformazioni nel piano perpendicolare alla direzione delle nervature producono dei momenti flettenti positivi sui blocchi interposti (di qualsiasi natura) e, di conseguenza, stati tensionali di trazione nelle loro zone inferiori (fig. 11).

La buona resistenza a trazione delle pareti laterali del laterizio, a contatto con le nervature di calcestruzzo, in aggiunta alla buona aderenza laterizio/calcestruzzo (anche in virtù della presenza delle rigature), apporta un contributo (anche se non valutabile) alla resistenza al taglio in zona appoggio.

Fig. 11 - La resistenza a compressione laterale del blocco e la resistenza a trazione delle sue parti laterali esercitano una azione di contenimento del calcestruzzo della nervatura e contrastano gli sforzi di trazione.



Il valore della resistenza a trazione misurata su listello serve, poi, da correlazione con la resistenza a compressione del blocco permettendo di valutare la qualità di quest'ultimo con semplici e frequenti prove di laboratorio.

Blocchi di categoria B

La resistenza caratteristica a compressione deve risultare non minore di:

– 30 N/mm² nella direzione dei fori

– 15 N/mm² nella direzione trasversale ai fori e nel piano del solaio.

Queste resistenze consentono di tenere conto nei calcoli del contributo del laterizio quando si individua la sezione resistente della nervatura e quindi di avere, a parità di altezza di solaio e di altre caratteristiche, una maggiore portata.

La resistenza caratteristica a trazione per flessione (sul listello) non deve essere minore di 10 N/mm².

Il commento è analogo a quello fatto nella stessa circostanza per i blocchi di alleggerimento (categoria A).

Devono avere conformazione tale da assicurare la trasmissione degli sforzi dall'uno all'altro blocco nella direzione delle nervature (smusso superiore).

Tutte le pareti orizzontali compresse devono avere uno spessore maggiore o uguale a mm 8.

Tutti i requisiti previsti per il laterizio, più altri particolari requisiti (in dipendenza del materiale), devono essere rispettati anche dai blocchi formati da materiale diverso dal laterizio. A tale proposito l'art. 7.2.1 coinvolge il calcestruzzo con inerti leggeri, il calcestruzzo normale, le materie plastiche, elementi organici mineralizzati, ecc.

Altre disposizioni normative e relativa rispondenza sono riportate al paragrafo sulle caratteristiche strutturali.

Rispetto della UNI 9730

Questa norma, oltre a definire gli elementi in laterizio per solai, indica:

- i parametri da utilizzare per la loro classificazione in base alla funzione ed al tipo di posa in opera, fissandone le caratteristiche morfologiche e prestazionali;
- i requisiti fondamentali ed i relativi limiti di accettazione;
- una serie di metodi di prova allo scopo di unificare le modalità operative per la verifica di conformità dei blocchi.

Una prima considerazione positiva, come già detto in altre occasioni, viene dal fatto che in tal modo i blocchi in laterizio sono regolamentati da un'apposita normativa e quindi vi è chiarezza per quanto concerne le prestazioni attese e le modalità di determinazione delle stesse.

Non tutti i materiali dispongono di norme specifiche che ne stabiliscano requisiti di accettazione e metodi di verifica e, di conseguenza, rendano sicuro il loro impiego.

Una seconda considerazione positiva deriva dalla osservazione della tabella A della norma UNI 9730 relativa ai limiti di accettazione dei blocchi di laterizio, che dimostra una particolare attenzione al soddisfacimento di tutte le problematiche che si possono sviluppare a seguito dell'impiego degli stessi nel sistema solaio finito. Significa, cioè, che tutti i possibili aspetti esecutivi e prestazionali sono stati affrontati e che, di conseguenza, sono state imposti, al laterizio, alcuni requisiti che ne permettono idonea risoluzione.

Non è così per la maggior parte dei componenti (realizzati con altri materiali) che si propongono come alleggerimento di un solaio. Generalmente sono proposti per soddisfare una sola prestazione (termica, acustica, ecc.) senza minimamente preoccuparsi di altri importanti funzioni che il solaio deve svolgere o, al massimo, inventando dei dispositivi macchinosi che ne rendono più complicato l'impiego, meno sicuro e, in molti casi, più costoso.

Caratteristiche
dei blocchi in
laterizio secondo
la UNI 9730

UNI 9730 - Tabella A: limiti di accettazione

Caratteristica	Blocchi categoria A	Blocchi categoria B	Metodo UNI 9730/3
1. Aspetto		vedere appendice B	punto 4
2. Dimensioni			
- Altezza h	nominale $\pm 2,5$ mm		
- Lunghezza t	nominale $\pm 2,5$ %		
- Larghezza l	nominale $\pm 2,5$ %		punto 5
- Spessore setti	≥ 7 mm ⁽¹⁾		
- Spessore pareti ⁽²⁾	≥ 8 mm ⁽¹⁾		
- Altezza soletta rinforzata	$\geq 1/5$ di h (per h ≤ 25 cm) ≥ 5 cm (per h > 25 cm)		
3. Forma			
- Percentuale foratura	0,6 + 0,625 h (con h in m); (comunque 75% max.)		punto 6
- Percentuale foratura soletta rinforzata	$\leq 50\%$		
4. Resistenza meccanica			
- Resist. caratt. a compressione nella direzione dei fori f_{bk}	≥ 15 N/mm ² (150 kg/cm ²)	≥ 30 N/mm ² (300 kg/cm ²)	punto 7
- Coefficiente di variazione C_v	20% max.	20% max.	
- Aderenza media laterizio-calcestruzzo τ_a	≥ 2 N/mm ² (20 kg/cm ²)	≥ 2 N/mm ² (20 kg/cm ²)	punto 8
- Resistenza caratteristica a trazione per flessione su listello f_{vk}	≥ 7 N/mm ² (70 kg/cm ²)	≥ 10 N/mm ² (100 kg/cm ²)	punto 9
- Resistenza al punzonamento (solo tipo 3)	$\geq 1,5$ kN (150)		punto 10
- Modulo elastico	(80.000 kg/cm ²) 8.000 N/mm ² $\leq E \leq 25.000$ N/mm ² (250.000 kg/cm ²)		punto 11
5. Dilatazione			
- Dilatazione all'umidità	valore dichiarato $\pm 20\%$		punto 12
- Dilatazione termica lineare	valore dichiarato $\pm 10\%$		punto 13
6. Imbibizione	$8 \leq a_s \leq 20$ g/dm ² x min		punto 14
7. Inclusioni calcaree	- diametro medio crateri $\emptyset < 15$ mm		punto 15
	- massimo 3 crateri con diametro $7 < \emptyset < 15$ ogni dm ²		
8. Efflorescenze	grado leggero		punto 16

1) E' ammessa una tolleranza del ± 4 % su singoli spessori a condizione che la media degli spessori delle pareti e dei setti, sia in direzione verticale sia in direzione orizzontale, risulti non minore di quella nominale.

2) Al netto delle rigature.

Rispetto del draft prEN 15037-2: "Blocchi per solai a travetti"

Con riferimento alla proposta di nuova norma europea, ancora in fase di redazione, i blocchi per solai a travetti possono essere di: **laterizio, calcestruzzo normale, calcestruzzo leggero, plastica alveolare, polistirolo e altre plastiche.**

Il progetto di norma prevede una diversa classificazione generale dei blocchi da solaio proponendo le definizioni seguenti:

- **blocco non resistente** (blocco senza alcuna funzione resistente nel sistema solaio finale): la sua unica funzione meccanica è quella di costituire cassaforma durante la costruzione. I solai realizzati con blocchi non resistenti devono avere sempre un completamento strutturale gettato in opera;
- **blocco semiresistente** (blocco che partecipa al trasferimento dei carichi sui travetti). In collaborazione con il calcestruzzo gettato in opera, esso può contribuire alla resistenza finale del sistema: ad esempio, partecipare alla resistenza al taglio o alla riduzione della flessibilità del sistema solaio finito. Comunque la sua soletta superiore, da sola, non può agire come soletta compressa del sistema solaio; può essere, però, associata al completamento di calcestruzzo e agire in ausilio a questo;
- **blocco resistente** (blocco con le stesse funzioni del blocco semiresistente) la cui soletta superiore, sotto alcune condizioni, può esercitare il ruolo parziale di soletta compressa nel sistema solaio finale.

I blocchi di laterizio ricadono nelle ultime due categorie.

Il blocco semiresistente, dunque, non sarebbe altro che il blocco di alleggerimento di categoria A del D.M. 09/01/96. Secondo il progetto di norma europea, può anch'esso contribuire, in collaborazione con il calcestruzzo, alla resistenza finale del solaio, ad esempio:

- partecipando alla resistenza al taglio (per i blocchi di testata);
- dare un apporto alla formazione del momento di inerzia della "sezione resistente" sia in campata che agli appoggi;
- contribuire alla trasmissione degli sforzi orizzontali nel solaio.

Questi contributi, come si è già visto, non sono riconosciuti dalla attuale normativa nazionale. È importante, però, che si percepisca la riserva di sicurezza che comunque è presente.

Il blocco resistente (praticamente il blocco di categoria B), invece, parteciperebbe con le stesse funzioni dei precedenti blocchi semiresistenti; ma la zona superiore del blocco, sotto alcune condizioni geometriche, potrebbe esercitare un ruolo parziale di soletta compressa nel sistema solaio finale. Naturalmente deve essere assicurata, mediante dispositivi idonei (ad esempio lo smusso del bordo superiore), la continuità della trasmissione degli sforzi da un blocco all'altro.

Per i blocchi resistenti sarebbe necessario, secondo il progetto di norma europea, il rispetto delle seguenti condizioni:

- la percentuale di foratura della soletta collaborante, rispetto all'area totale della sua sezione trasversale, considerata nella direzione di trasmissione degli sforzi, non deve essere superiore al 50% (così come attualmente prescritto nel D.M.09/01/96);
- la soletta collaborante deve avere altezza minima 40 mm e i suoi setti orizzontali devono avere spessore non minore di 8 mm. Inoltre uno (o entrambi) i bordi della soletta devono avere forme tali da creare un giunto fra due blocchi consecutivi che si possa riempire di calcestruzzo (così come attualmente prescritto nel D.M. 09/01/96);
- la forma dei blocchi deve essere compatibile con quella dei travetti usati, con particolare riguardo alla aderenza fra travetto e calcestruzzo gettato in opera (fig. 12): questa prescrizione rappresenterebbe una importante novità perchè ci si preoccuperebbe, finalmente, del corretto getto del calcestruzzo all'interno delle nervature resistenti;
- I blocchi sono classificati per "classi di resistenza" e ciascuna classe è definita dal "carico caratteristico di rottura" valutato attraverso la prova di "punzonamento-flessione" (fig. 13).

Fig. 12 - Indicazioni sulla forma dei blocchi di laterizio (a) e prova di "punzonamento-flessione" su blocchi di calcestruzzo e laterizio (b).

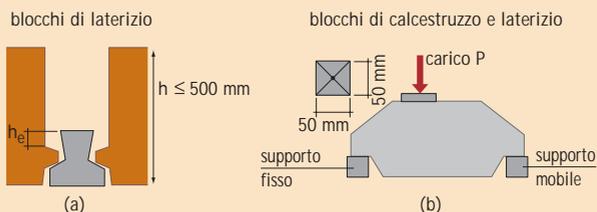
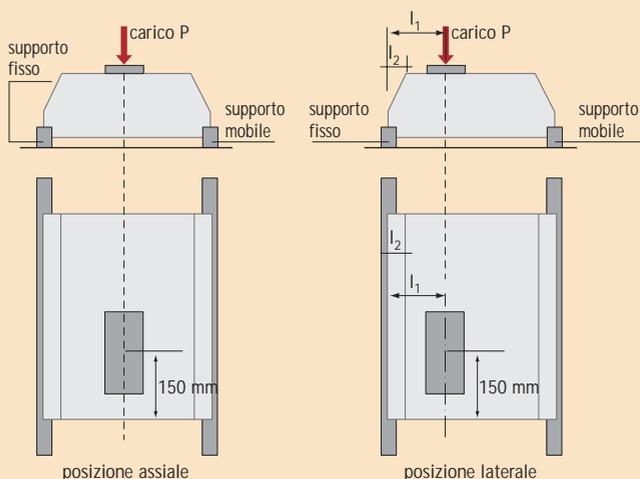


Fig. 13 - Prova di punzonamento a taglio su blocchi di polistirolo. Si assume il valore più sfavorevole tra le due posizioni illustrate.



se $l_2 \leq 100$ millimetri, $l_1 = 150$ millimetri

se $l_2 > 100$ millimetri, $l_1 = (l_2 + 150)$ millimetri

A differenza del D.M. che prescrive che il carico di prova di 1,5 kN sia applicato in mezzzeria della faccia superiore del blocco (in laterizio o in calcestruzzo), per la norma europea si dovrebbe agire come segue:

- nel caso di blocchi non deformabili (laterizio o calcestruzzo), il carico deve essere applicato nella posizione considerata più critica, dopo che questa sia stata preventivamente individuata (fig. 12). Questo perché la forma del blocco e la trama dei setti possono influire molto sulla resistenza a punzonamento oltre, naturalmente, al numero dei setti e al loro spessore (che determinano la percentuale di foratura);
- nel caso di blocchi di materiale a bassa densità, il carico dovrà essere applicato in posizione laterale e in posizione assiale secondo i due schemi approssimativamente indicati in fig. 13. Quest'ultima circostanza è indicativa della particolare attenzione che deve essere posta nei confronti di tali blocchi prima di impiegarli. Soprattutto, da come è prevista l'applicazione del carico di prova, si evince il timore di debolezza, di tali blocchi, lungo i bordi, dove la sollecitazione di taglio, in caso di prevalenza, può creare problemi. Si tratta, infatti, di punzonamento-taglio.

Resistenza a punzonamento taglio per i blocchi in polistirolo

La tabella B indica le classi di resistenza proposte dal progetto di norma europea. Si nota che per i blocchi semi-resistenti e per i blocchi resistenti sono previste due classi: classe A e classe B, a seconda che la resistenza a punzonamento-flessione sia di 1,5 kN oppure 3,0 kN. Tali classi sono, ovviamente, indicative della collaborazione che il blocco può offrire sia in fase preparatoria che in fase di esercizio (quando, inglobato nella struttura, è soggetto all'azione di momento flettente e/o taglio).

Tabella B - Classi dei blocchi secondo prEN 15037-2

Tipo di blocco	Classi di resistenza	Resistenza a punzonamento
Non resistente	—	1.5 kN
Semi-resistente	A	1.5 kN
	B	3.0 kN
Resistente	A	1.5 kN
	B	3.0 kN

I blocchi resistenti devono essere in grado di sviluppare una propria resistenza a compressione longitudinale.

Quando, poi, per il blocco, è prevista una resistenza a compressione longitudinale maggiore di 20,0 MPa con la previsione di doverne tenere conto nel progetto del sistema solaio finito, dovrà essere garantito anche tale livello di resistenza.

Si nota che l'ordine di grandezza della resistenza a compressione longitudinale è paragonabile con quella che i blocchi di laterizio sono in grado di assicurare; per cui questi saranno largamente abilitati, dalla norma europea, a partecipare alle resistenze meccaniche del solaio finito.

Per i tipi di blocco diversi da quelli in laterizio o in calcestruzzo è previsto che sia prescritto che i materiali debbano "... **armonizzarsi con le norme europee ad essi applicabili o, in assenza di queste, con regolamenti nazionali che si occupino di requisiti di sicurezza in caso di incendio e di salubrità e rispetto dell'ambiente. I produttori dovranno fornire dimostrazioni e risultati di prove sperimentali attestanti che i blocchi di plastica siano compatibili con il calcestruzzo nel sistema solaio finale**".

In ogni caso, il produttore dovrà fornire prove concrete che le proprietà meccaniche, la resistenza al fuoco, le proprietà acustiche e termiche siano stabili nel tempo.

Ovviamente per questo ultimo disposto non vi sono problemi di alcun genere per i blocchi di laterizio i quali:

- sono considerati conformi senza bisogno di test di laboratorio (classe A₁), per quanto riguarda la reazione al fuoco;
- mantengono inalterate nel tempo le loro caratteristiche meccaniche (ne sono prova gli edifici antichi);
- non si lasciano attaccare da nessun agente esterno sia naturale che artificiale;
- presentano caratteristiche termiche costanti (la variazione di resistenza termica che si ha su tutti i materiali, a seguito di un aumento percentuale del contenuto di acqua, è bassa per il laterizio e molto più alta per i materiali leggeri);
- assicurano proprietà acustiche anche esse costanti e stabile composizione chimica.

Rispetto dell'Ordinanza n. 3274

L'Ordinanza del 20.03.2003 per le costruzioni in zone sismiche affida al solaio il compito di ripartire le azioni orizzontali, dovute al sisma, tra i componenti strutturali verticali (pilastri o setti).

Per assolvere a tale compito il solaio, in caso di sisma, deve:

- mantenere invariata la capacità portante nei confronti dei carichi verticali;
- essere in grado di assorbire le sollecitazioni nel piano indotte dall'azione sismica.

In definitiva, il solaio deve essere infinitamente rigido nel proprio piano e deve permettere la trasmissione delle forze di piano in ogni direzione in modo da ripartirle, poi, correttamente tra i pilastri.

Ancora una volta si evidenzia la necessità che i componenti (e specialmente i blocchi) dei solai misti siano in grado di resistere a tali azioni, nelle due direzioni ortogonali.

Caratteristiche costruttive

Le diverse tipologie di solai in laterizio prevedono caratteristiche costruttive quasi analoghe.

Tali caratteristiche sono, poi, simili, per procedura, per tutti i solai che prevedano un getto di completamento in calcestruzzo.

Solai in opera

La preparazione di un solaio di questo tipo richiede un impalcato provvisorio continuo che provvederà a sorreggere la struttura fino alla maturazione del calcestruzzo (fig. 14.a).

Tale impalcato è, normalmente, costituito da un tavolato continuo, che interessa tutta la luce da coprire, sul quale vengono allineati i blocchi, per file, secondo la direzione di orditura delle nervature resistenti. La distanza reciproca tra le file individua la larghezza di tali nervature, mentre le pareti laterali dei blocchi ne definiscono i bordi verticali.

Con questa tipologia è possibile realizzare anche nervature resistenti incrociate, in caso di funzionamento a piastra (fig. 14.b).

I blocchi in laterizio nei solai in opera

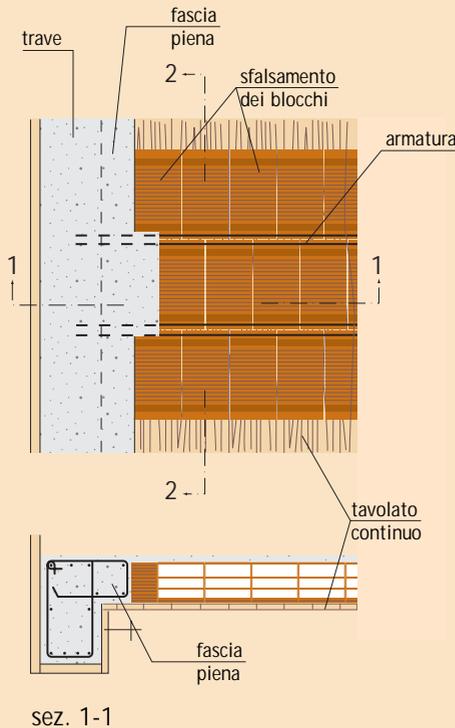
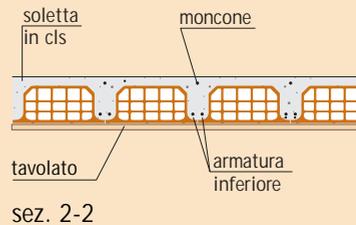


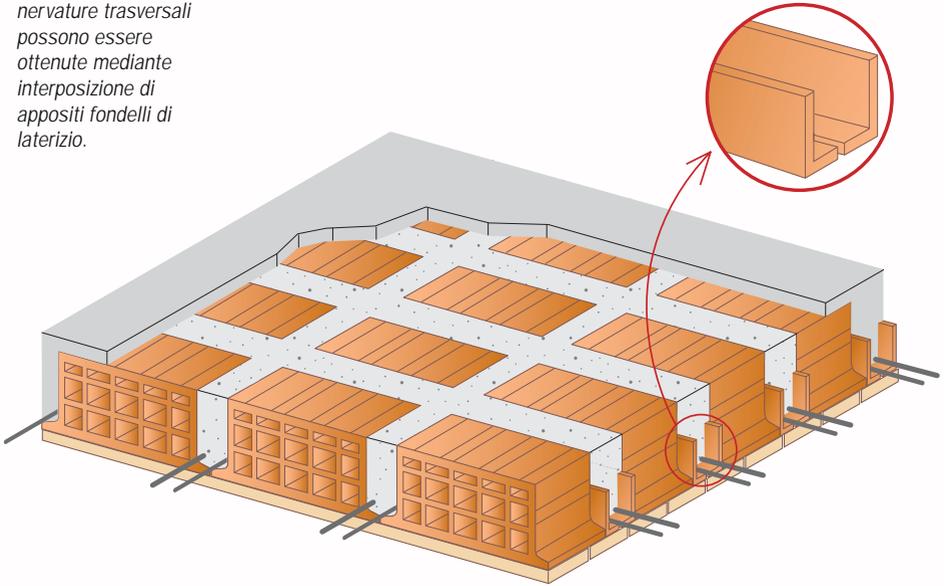
Fig. 14.a - Caratteristiche costruttive di un solaio in opera.



sez. 1-1

sez. 2-2

Fig. 14.b - Solaio in opera a nervature incrociate. Le nervature trasversali possono essere ottenute mediante interposizione di appositi fondelli di laterizio.



L'armatura di acciaio, opportunamente dimensionata e sagomata, viene alloggiata nello spazio tra blocco e blocco, avendo cura di distanziarla dal fondo in modo da assicurare un idoneo copriferro. Data la massima libertà di azione, è possibile "piegare" verso l'alto, in prossimità degli appoggi, una barra di armatura e avere una migliore condizione di resistenza al taglio del solaio finito.

Le testate delle file dei blocchi possono essere allontanate a piacimento, rispetto al filo di bordo della trave, per creare zone piene.

Una volta disposti i blocchi, avendo previsto arretramenti per fasce piene e nervature trasversali di ripartizione, diventa molto semplice disporre la rete di acciaio e le mononature necessarie e quindi effettuare il getto del calcestruzzo di completamento.

La presenza del cassero continuo evita ai blocchi di laterizio il rispetto della resistenza a punzonamento - flessione.

Inoltre le operazioni possono essere effettuate in condizioni di sicurezza contro le cadute dall'alto.

La pedonabilità dell'impalcato, durante la fase di preparazione del solaio, è assicurata dalla resistenza meccanica dei blocchi che risulta comunque alta.

Il getto di calcestruzzo di completamento è abbastanza agevole e non presenta particolari problemi anche quando avviene con l'ausilio di una pompa.

Soprattutto è garantita una omogeneità di distribuzione del getto in tutte le parti, senza soluzioni di continuità.

Il disarmo, a maturazione avvenuta del calcestruzzo, presenta tempi abbastanza sensibili soprattutto per la necessità di assicurare l'integrità del materiale usato (quasi sempre legname) per un successivo riuso. La tecnologia si adatta bene a qualsiasi forma da "riempire" e non necessita di significativi sforzi di movimentazione o di apparecchiature particolari per il sollevamento.

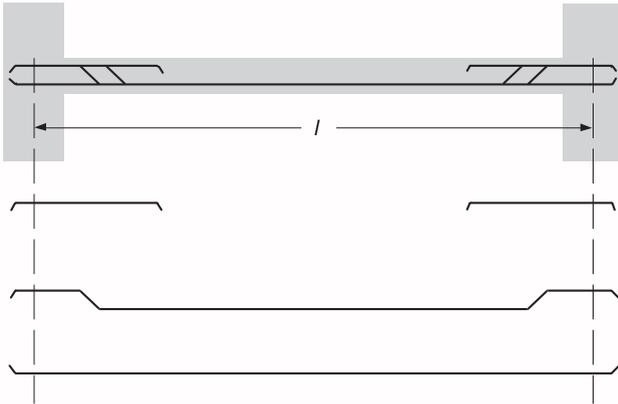
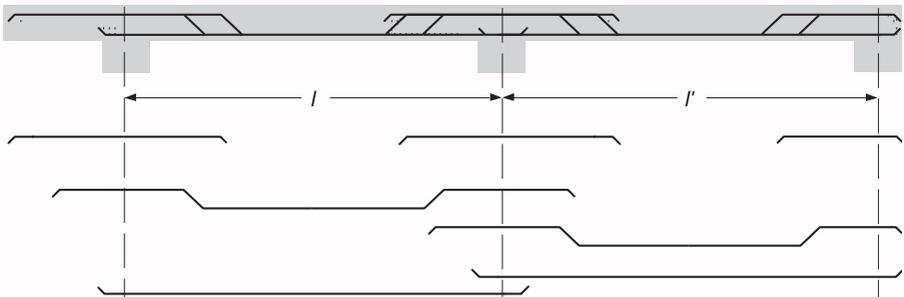


Fig. 14.c - Schemi di armatura di una nervatura di calcestruzzo interamente gettata in opera.



Dato che la lavorazione è svolta tutta in opera, può risultare più difficile assicurare il giusto copriferro alla armatura di acciaio che, perciò, rischia di trovarsi con scarsa protezione.

In alternativa ai blocchi di laterizio possono essere utilizzati anche blocchi di altro materiale; occorre tenere presente, tuttavia, che:

- i blocchi di calcestruzzo sarebbero troppo pesanti per la movimentazione; soprattutto, nella produzione corrente, non sono presenti blocchi in calcestruzzo con alette;
- i blocchi di polistirolo, abbastanza leggeri per la movimentazione, risulterebbero di difficile gestione durante il getto del calcestruzzo (specie se con pompa), perché in tali condizioni si spostano facilmente, si frantumano e tendono a "galleggiare".

I blocchi in laterizio nei solai a travetti

Solaio misto a travetti e blocchi interposti di laterizio

La preparazione dell'impalcato provvisorio è semplificata dalla introduzione di elementi trave lineari prefabbricati in cemento armato normale o precompresso. Questi elementi contengono già al loro interno la quantità di armatura necessaria sia per il solaio finito, in esercizio, sia per la fase provvisoria, di preparazione, nonché per le movimentazioni e il trasporto (fig.15).

Fig. 15 - Solai a travetti: disposizione dei blocchi, rompitratta provvisori e appoggio delle testate dei travetti.

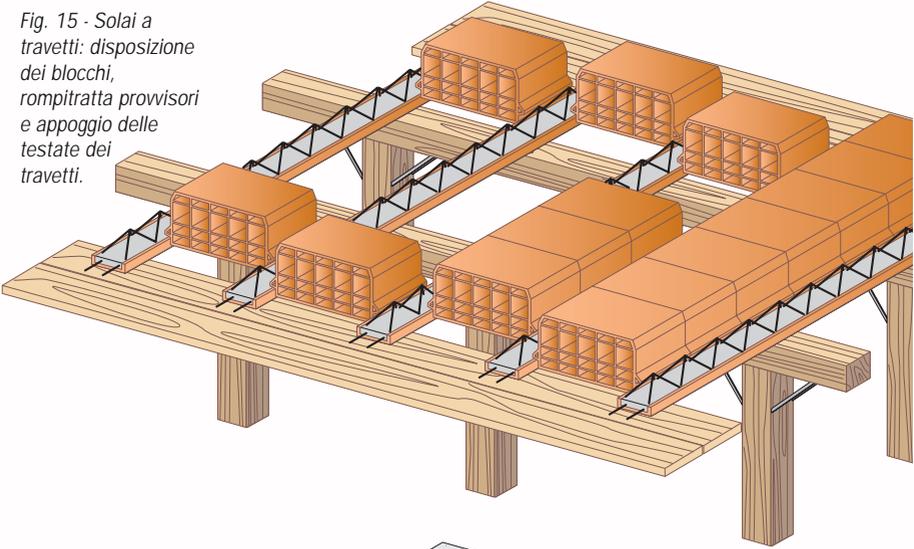
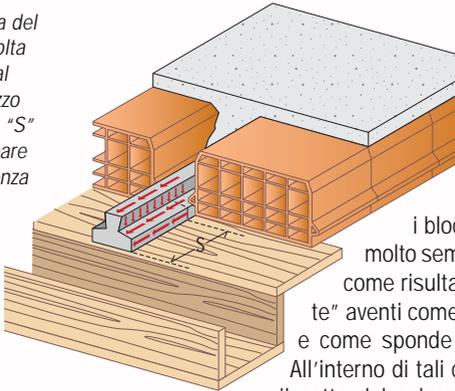


Fig. 16 - La testata del travetto viene avvolta completamente dal getto di calcestruzzo per una lunghezza "S" in grado di sviluppare una forza di aderenza opposta a quella della forza di scorrimento. La tavola orizzontale di sostegno funge da "fondo" per il riempimento di calcestruzzo nella fascia piena.



I travetti, in opera, vengono disposti secondo le direzioni previste, dal progettista strutturale del fabbricato, per le nervature resistenti e tra di essi vengono inseriti i blocchi di laterizio. L'operazione è molto semplice, abbastanza sicura, ed ha come risultato finale una serie di "canalette" aventi come fondo il travetto prefabbricato e come sponde le pareti laterali dei blocchi. All'interno di tali canalette verrà, poi, effettuato il getto del calcestruzzo di completamento che formerà la nervatura. Le testate dei travetti vengono poggiate, provvisoriamente, su una tavola, di adeguata larghezza e robustezza, posta di piatto lungo il bordo della trave.

Arretrando il blocco, rispetto al bordo della trave, si individua una zona, avente come fondo la tavola di bordo, che potrà essere riempita completamente di calcestruzzo a formare, quindi, la "fascia piena", molto

importante per le azioni di taglio ma soprattutto per assicurare l'unione dei travetti al calcestruzzo di completamento (fig. 16).

Con blocchi di altezza diversa, e agendo sulla larghezza della tavola di bordo, si possono avere situazioni intermedie di zone piene (zone semi-piene, blocco più basso, ecc.) in modo da risolvere egregiamente, pur mantenendosi sempre nella stessa logica tecnologica e di materiale, ogni problema derivante da taglio o momento flettente (o dalla combinazione di entrambi) in prossimità della zona di appoggio (fig. 17).

Una volta disposti i blocchi, il piano ottenuto è sufficientemente rigido e sicuro da poter permettere la pedonabilità. A tale proposito, è da ricordare che i blocchi interposti devono aver superato la prova di punzonamento-flessione. Per maggiore sicurezza, nelle zone in cui si prevede il transito di grossi carichi si possono disporre dei semplici dispositivi precauzionali di distribuzione dei carichi (passerelle di legno, ecc.).

Si procede poi alle altre operazioni di preparazione, come la messa in opera della rete, la realizzazione di eventuali particolari costruttivi (nervature di ripartizione trasversale, bordatura delle zone ribassate, forature, ecc.), la disposizione dell'armatura aggiuntiva (monconatura).

Il getto di calcestruzzo è abbastanza agevole, anche in questo caso, e non presenta particolari problemi anche quando avviene con l'ausilio della pompa. Dato il momento diverso di maturazione del calcestruzzo dei travetti prefabbricati, è necessario che ci siano dei dispositivi di unione tra questi e il calcestruzzo di completamento.

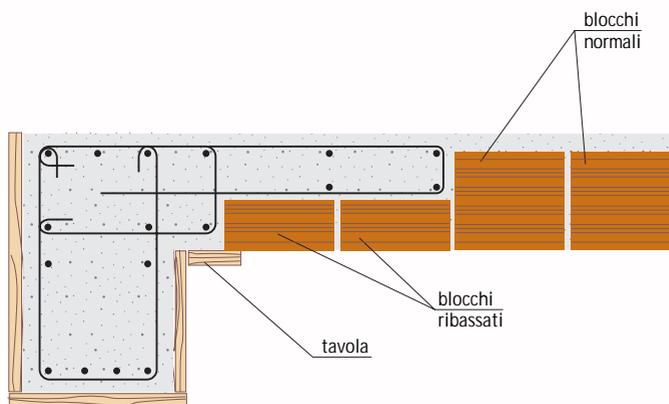


Fig. 17 - Accorgimenti per la zona soggetta a taglio.

La resistenza è ottenuta con la fascia piena e con i blocchi ribassati. Si evita così la necessità di avere un tavolato pieno, come fondo, di grande larghezza.

Per i travetti ad armatura lenta, il collegamento è costituito dalla presenza del traliccio; per i travetti in c.a. precompresso è, normalmente, la particolare forma (a coda di rondine) dell'anima, accompagnata dalla rugosità della superficie, che garantisce la monoliticità della struttura finale del solaio.

I blocchi di laterizio, a loro volta, per la presenza di rigature sulla faccia superiore e sulle facce laterali, esercitano una ulteriore azione di connessione tra il travetto e il calcestruzzo di completamento.

Il disarmo è molto veloce poiché si tratta di eliminare solo i rompitratta provvisori ed i relativi puntelli.

Anche questa tecnologia, seppure sensibilmente più "rigida" rispetto alla precedente (i travetti hanno una dimensione prevalente abbastanza pronunciata), si offre abbastanza bene per "riempire" qualsiasi forma di specchiatura di solaio.

I travetti ad armatura lenta, per lunghezze normali, possono essere anche movimentati a mano.

I travetti in c.a.p. sono più pesanti e necessitano sempre di un mezzo meccanico di sollevamento (salvo utilizzare elementi molto corti).

In ogni caso è sempre necessario movimentare i componenti con mezzi di sollevamento in modo da evitare percorsi più lunghi.

Data la produzione dei travetti in cantieri di prefabbricazione, è possibile garantire la costanza della posizione dell'armatura di acciaio e la qualità del calcestruzzo dei travetti stessi.

Al posto dei blocchi di laterizio, possono essere impiegati anche blocchi di altro materiale.

I blocchi di calcestruzzo si adattano bene a questa tecnologia; sono, però, alquanto pesanti e quindi creano difficoltà nella posa in opera, dal punto di vista della sicurezza e dell'igiene del lavoro. Maggiormente indicati sarebbero i blocchi di calcestruzzo alleggerito (con inerti leggeri o con cemento cellulare). In tal caso, però, le resistenze meccaniche avrebbero valori alquanto bassi.

Non è assolutamente consigliabile interporre blocchi di polistirolo, sia per la completa impossibilità a soddisfare la resistenza a punzonamento, sia per la difficoltà di tenerli rigorosamente in posizione durante il getto, anche in presenza di rete di acciaio all'estradosso.

I blocchi in laterizio nei solai a lastre o a pannello

Solai, a lastre o a pannelli, con alleggerimento in laterizio

Entrambi i sistemi sono concepiti come elementi piani, di larghezza costante (di solito pari a m 1.20) e di lunghezza corrispondente alla "luce" da coprire.

Anche questi tipi di solaio contengono, già inserita in opportune posizioni, la quantità di armatura di acciaio necessaria per le movimentazioni ed il trasporto, per la fase provvisoria di preparazione e per soddisfare le condizioni strutturali previste in esercizio.

Per le lastre, tale armatura è posta all'interno della soletta di calcestruzzo inferiore; per i pannelli essa viene invece alloggiata in apposite scanalature, ricavate mediante l'accostamento dei blocchi, riempite di calcestruzzo.

In entrambi i casi è garantita la "sicurezza" di un posizionamento corretto, di tale armatura, con operazioni normalizzate che garantiscono il mantenimento costante dello spessore del "copriferro".

I pannelli sono prodotti con blocchi di laterizio che, pertanto, costituiscono parte dei materiali di formazione.

Le lastre possono, invece, avere già predisposti, in cantiere di prefab-

bricazione, i blocchi di alleggerimento, oppure presentare dei dispositivi per accoglierli durante la fase di messa in opera.

Per le operazioni di movimentazione, e nella fase di preparazione, le lastre ad armatura lenta sono dotate di tralicci di acciaio disposti per tutta la loro lunghezza ed in numero adeguato (quasi sempre tre); le lastre in c.a.p. sono, invece, dotate di nervature di risalto, anch'esse per l'intera lunghezza ed in numero adeguato; i pannelli dispongono di una armatura aggiuntiva, superiore, sempre predisposta, al momento della prefabbricazione, in opportune scanalature esistenti sulle facce superiori dei blocchi di laterizio (figg. 3.a; 3.b; 4).

Date le dimensioni, i solai prefabbricati vengono movimentati necessariamente con mezzi meccanici: è necessario, dunque, che sia possibile una adeguata mobilità dei mezzi in cantiere.

La posa in opera avviene direttamente sull'impalcato; sia i pannelli che le lastre vengono sorretti, in fase provvisoria, da un numero predeterminato di "rompitratte" la cui distanza dipende soprattutto dal peso proprio della struttura in preparazione e dal peso del calcestruzzo da "gettare" a completamento.

Alle testate, lungo i bordi delle travi portanti, necessitano di un appoggio largo almeno cm 10.

Le operazioni di completamento sono molto facilitate data la indeformabilità del piano e la sicurezza che esso offre per i movimenti del personale.

Al posto dei blocchi di laterizio possono essere impiegati anche blocchi di altro materiale.

Gli alleggerimenti delle lastre, ad esempio, possono essere costituiti da "filoni" di polistirolo, incollato o meno alla lastra. La soluzione, anche se molto usata, comporta i soliti problemi di pedonabilità del piano di lavoro e di getto del calcestruzzo con la pompa. Non vi sono sufficienti garanzie, in caso di incendio, che non vi sia sviluppo di fumi e di gas tossici.

Dalla descrizione delle caratteristiche costruttive si nota che le tre tipologie di solaio sono molto semplici da impiegarsi e permettono di risolvere facilmente ogni problema sia di cantiere (compresi gli adempimenti legati alla sicurezza), sia strutturale.

Le maestranze le preferiscono perché contemplano l'impiego di materiali da loro conosciuti nelle prestazioni e negli accorgimenti di pratica esecuzione.

Sono, quindi, in grado di intervenire facilmente, per esaltare i pregi e neutralizzare i difetti, grazie a tecniche e materiali conosciuti e di prestazioni certe.

Al contrario, le stesse maestranze guardano con sospetto i nuovi prodotti che tendono a sconvolgere tutto il sistema delle loro conoscenze, presuppongono diversi modi di unione con gli altri materiali e cambiano la maniera di organizzazione e di processo senza portare, in genere, a significativi e giustificati vantaggi.

Caratteristiche strutturali

Per le caratteristiche strutturali dei solai in latero-cemento valgono le prescrizioni descritte al paragrafo 7.1.4 del D.M. 09/01/96 (artt. da 7.1.4.1 a 7.1.4.8).

Queste regole, formulate in seguito a esperienze di laboratorio sui solai con alleggerimento in blocchi di laterizio (e quindi guardando alle peculiari caratteristiche di tale materiale), devono essere rispettate anche da solai con blocchi diversi dal laterizio (secondo l'art. 7.2.1, ultimo comma), con tutti i problemi che ciò comporta non essendo tali blocchi, nella maggior parte dei casi, in grado di soddisfare i requisiti necessari per determinate situazioni di tipo statico.

In particolare, è opportuno sottolineare i seguenti aspetti normativi che influiscono sulla struttura del solaio:

La soletta di calcestruzzo nei solai in latero-cemento

- la soletta di calcestruzzo deve essere non minore di cm 4 (art. 7.1.4.4)

Per i solai gettati in opera, per quelli a travetti e blocchi interposti e per le lastre, tale soletta, realizzata contemporaneamente alle nervature resistenti, consente di alloggiare, nel suo spessore, sia la eventuale rete metallica di ripartizione, sia le armature a momento negativo sugli appoggi (monconature).

La soletta di calcestruzzo può essere omessa se il blocco è di categoria B, ovvero se il blocco, oltre alle prescritte caratteristiche di resistenza, ha i necessari requisiti di spessore delle pareti e dei setti, nonché di percentuale di foratura della zona rinforzata. In più, la conformazione della soletta rinforzata deve essere tale da consentire la penetrazione del calcestruzzo in modo da assicurare il collegamento tra un blocco e l'altro.

L'impiego di blocchi diversi dal laterizio, privi di resistenze meccaniche o con scarsa aderenza al calcestruzzo, per situazioni analoghe, renderebbe necessari dei dispositivi di connessione predisposti sulle superfici superiori delle nervature, al momento della prefabbricazione.

I blocchi diversi dal laterizio, se collaboranti, devono avere le stesse caratteristiche di conformazione dei primi e un modulo di elasticità che, oltre ad essere inferiore a 25 kN/mm^2 , deve, però, essere superiore a 8 kN/mm^2 (art. 7.2.2).

Larghezza e interasse delle nervature

- la larghezza e l'interasse delle nervature devono rispettare precise limitazioni (art. 7.1.4.5)

Le prescrizioni di questo articolo, sintetizzate nella fig. 18, sono rispettate con molta facilità da qualsiasi tipologia di solaio in laterizio.

Per i solai gettati in opera e per i solai a pannelli, normalmente, la larghezza delle nervature è di poco superiore a cm 8; in particolare le dimensioni dei blocchi in laterizio di produzione corrente permettono di rispettare con ampi margini il rapporto delle nervature stesse con il loro interasse (non minore di $l/8$) dove l (dimensione del blocco) non deve superare i 52 cm.

La conformazione dei blocchi con la caratteristica linguetta inferiore (o aletta) determina comodamente la larghezza della nervatura e permette la creazione di un intradosso omogeneo, di solo laterizio. Aumenti di larghezza delle nervature, per conseguire maggiori portate, possono essere ottenuti con l'inserimento di fondelli.

Per i solai a travetti in c.a.p. la dimensione delle nervature è, normalmente di cm 12; in caso di travetti ad armatura lenta, tale dimensione può variare da cm 8 a cm 12, a seconda della conformazione del blocco. Per questi tipi di solaio è possibile avere un aumento di larghezza delle nervature mediante il raddoppio del travetto stesso. In tali casi si hanno notevoli aumenti di resistenza al taglio oltre che di portata (fig. 18).

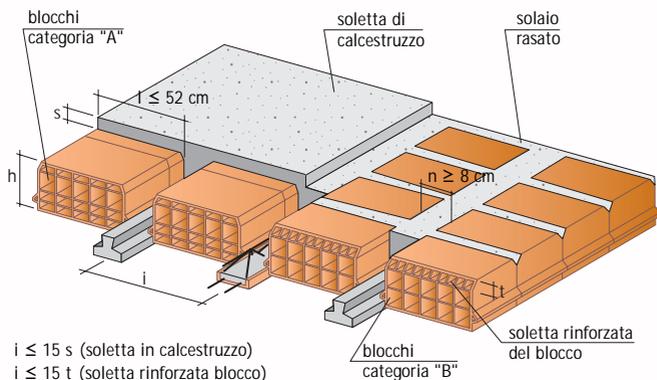


Fig. 18 - Regole costruttive valide per travetti in c.a. normale e in c.a.p.

Spessore nervature

- $n \geq l/8$ nervature gettate e completate in opera
- $n \geq 8$ cm
- $n \geq 5$ cm per produzioni in stabilimento di pannelli di solaio completi

Spessore soletta

Soletta in calcestruzzo	$s \geq 4$ cm	(blocchi cat. "A")
Soletta rinforzata blocco di cat. "B"	$t > 1/5 h$ (fino a $h = 25$ cm)	
	$t > 5$ cm	(per $h > 25$ cm)
Percentuale di foratura soletta rinforzata	$\phi < 50\%$	

Interasse delle nervature

$i \leq 15 s$ (solaio con soletta in cls)
$i \leq 15 t$ (solaio rasato e blocchi di cat. "B")
$l \leq 52$ cm

Per i blocchi di categoria B, possono considerarsi appartenenti alle nervature (e quindi considerare anche il loro spessore ai fini della larghezza delle nervature stesse) le pareti di laterizio formanti cassero; purché esse siano dotate di rigature per assicurare l'aderenza con il calcestruzzo.

Per i solai a lastre, la dimensione delle nervature è normalmente di cm 10. Tale dimensione, nonché il numero e la disposizione delle stesse, può essere variabile a seconda del tipo di lastra.

Nervature di ripartizione trasversale

I rapporti tra larghezza ed interasse delle nervature devono essere rispettati anche per i blocchi diversi dal laterizio (ultimo comma dell'art. 7.2.1).

Gli altri sistemi sono, però, più rigidi, in tal senso, perché sono costruiti intorno a dei dispositivi che, a loro volta, hanno funzione di ausilio al materiale di base.

– per solai con nervatura gettata o completata in opera e di luce superiore a m 4,50 o quando sia sensibile il comportamento a piastra o quando agiscano carichi concentrati che incidano in misura considerevole sulle sollecitazioni di calcolo, si deve prevedere all'estradosso una soletta di spessore minimo 4,0 cm munita di adeguata armatura (art. 7.1.4.6)

Per tutte le tipologie di solaio è abbastanza semplice la disposizione della armatura di ripartizione all'estradosso nella soletta.

Risulta anche agevolata la realizzazione di nervature trasversali di ripartizione, in alternativa o in aggiunta, disponendo una fila trasversale di blocchi di laterizio, di altezza minore, in corrispondenza della nervatura da eseguire. Si ottiene, in questo modo, anche il vantaggio di avere una omogeneità di materiale all'intradosso (fig. 19).

In assenza di soletta di calcestruzzo (a seguito di impiego di blocchi di categoria B), le nervature trasversali sono necessarie.

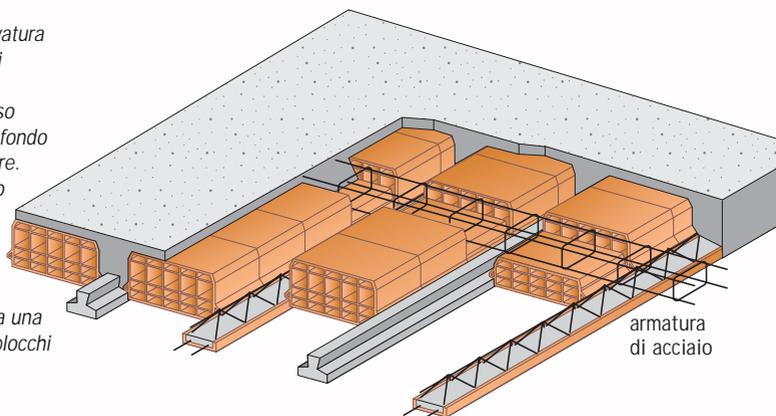
Per i solai a pannello, le nervature sono gettate al momento della prefabbricazione; la capacità di ripartizione trasversale potrà essere garantita anche a mezzo di altri dispositivi la cui efficacia è da dimostrare con idonee prove sperimentali.

Per tale sistema è, comunque, conveniente il sistema della armatura di ripartizione della soletta.

Fig. 19 - Nervatura trasversale di ripartizione.

Il blocco basso costituisce il fondo delle nervature.

I blocchi sono allineati per cui il vuoto della nervatura è individuato da una o più file di blocchi bassi.



E' da notare che la resistenza trasversale dei blocchi, abbastanza grande anche nel caso di blocchi di categoria A, esercita una efficace azione di contrasto nelle nervature di calcestruzzo impedendo il loro

sbandamento laterale o lo svergolamento, per grosse luci o per grandi deformazioni.

Di conseguenza, per luci maggiori di m 4,50 sono sufficienti (anche in zona sismica) una o due nervature trasversali, a seconda della dimensione del solaio.

La situazione risulta però molto problematica per i blocchi diversi dal laterizio non dotati di resistenze trasversali (ad esempio i blocchi di materiale leggero). In tal caso, gli irrigidimenti trasversali diventano necessari a partire da luci molto minori di m 4,50, sia per evitare gli sbandamenti laterali delle nervature, sia per impedire che le stesse, per forze orizzontali nella loro direzione (azione sismica), entrino in crisi per instabilità (carico di punta).

Impiegando blocchi di polistirolo, ad esempio, sarebbe necessario disporre nervature trasversali a distanze non maggiori di cm 150.

- deve essere disposta una armatura longitudinale minima pari a:
 $A_{s,min} > 0,07 \cdot h$ (cm² al metro) (art. 7.1.4.7.)

Armatura
longitudinale

Il posizionamento dell'armatura longitudinale è abbastanza semplice per i solai in opera. In questo caso, anzi, è possibile razionalizzare al massimo la sua distribuzione e la quantità da impiegare (fig. 14.c).

È possibile, infatti, in prossimità degli appoggi, "piegare" verso l'alto una delle due barre di armatura longitudinale inferiore, in modo da ottenere due benefici: avere una armatura a taglio (anche se non richiesta) e utilizzare la stessa barra per "coprire" il momento negativo.

Le attenzioni maggiori, per questo sistema, sono da dedicarsi al posizionamento delle barre di armatura, alla qualità del calcestruzzo e alla corretta esecuzione del getto (che molto influisce sulla conservazione delle armature). In particolare, le barre di acciaio devono essere poste alla giusta distanza dal bordo esterno del calcestruzzo che le avvolge, in modo da assicurare il necessario copriferro.

Le incertezze, dette sopra, sono comuni a tutti i tipi di solaio che si basano sulla procedura di realizzazione in opera e sono tanto più accentuate quanto meno rigido è il supporto fornito dai blocchi e meno favorevole è la loro forma a contenere il calcestruzzo di completamento.

Per i **componenti-solai prefabbricati** (travetti, lastre, pannelli), l'armatura per il momento positivo è già predisposta, nel componente, al momento della prefabbricazione. Travetti, lastre e pannelli, infatti, contengono la quantità di armatura necessaria per la fase di esercizio nonché quella necessaria per le fasi transitorie (preparazione, movimentazione).

In questo caso, i difetti prima lamentati non esistono in quanto le barre di armatura sono disposte con movimenti ottimizzati, sempre uguali, che non danno spazio a imperfezioni; mentre il calcestruzzo, soggetto a continui controlli, riguardo alla composizione, è posto in opera con modalità costanti che ne assicurano la durabilità.

Armature per il taglio

– armatura per il taglio (art. 7.1.4.8)

I solai in latero-cemento ricadono, di solito, nelle condizioni previste dall'art. 4.2.2.2 del D.M. 09/01/96.

Secondo tale articolo, infatti, è consentito l'impiego di elementi sprovvisti di armature trasversali resistenti al taglio (solette, piastre e membrane a comportamento analogo), a condizione che detti elementi abbiano sufficiente capacità di ripartire i carichi trasversalmente.

Questa capacità rinviene, al solaio in laterizio, proprio dalle resistenze al carico verticale concentrato, nella direzione normale alla giacitura, nonché dalle resistenze trasversali, normali alla direzione delle nervature, che sono in grado di offrire i blocchi. Essi, infatti, con l'aiuto della soletta creano la possibilità di ripartire ottimamente i carichi in direzione trasversale alla nervatura e, in più, esercitano, sul calcestruzzo della nervatura, una azione di "contenimento" analoga a quella esercitata dalle staffe di acciaio in una trave.

Vantaggi della resistenza trasversale dei blocchi

Risulta ovvia la non rispondenza, in questo senso, dei blocchi di tipo leggero. In loro presenza, la soletta si deforma molto, in corrispondenza dei blocchi, e quindi inibisce la ripartizione dei carichi in senso trasversale, vanificando la regola prima detta.

Vale la pena di spendere ancora qualche parola su questo argomento. Per le tipologie di solaio in opera, a travetti prefabbricati e a pannello, la struttura resistente è formata, in definitiva, da nervature a forma di "T" con ali abbastanza larghe e di spessore sottile rispetto all'altezza dell'anima e all'altezza totale del solaio.

Anche nelle lastre, poi, pur essendoci una forma scatolare, si verificano le stesse caratteristiche di snellezza delle varie parti.

Ciò significa che in uno stato deformativo sotto carichi di esercizio si hanno, in entrambi i casi, delle tendenze a forti alterazioni della forma. Tendenze che possono essere contrastate solo con la interposizione di elementi di alta affinità deformativa e di intimo ed efficace collegamento con il calcestruzzo che, all'interno di intervalli controllati di tensioni (che comunque permettono gli utilizzi previsti per la struttura), aiutino il calcestruzzo stesso assumendosi parte degli sforzi pur senza comparire (figg. 9.c; 11.a).

E' importante, quindi, che l'elemento di alleggerimento risponda a tutte le caratteristiche prima enunciate e prescritte dalle norme.

Vantaggi per la resistenza al taglio

Un altro vantaggio, connesso con l'impiego di blocchi di laterizio, è quello di poter richiedere lo stesso il concorso alla resistenza agli sforzi tangenziali. Ciò è ammesso, in base all'art. 7.1.2, se si usano elementi monoblocco e si dispongono in modo che nelle file adiacenti (comprendenti una nervatura di calcestruzzo) i giunti risultino sfalsati tra di loro.

Blocchi alternativi che possono godere di questo vantaggio sono solo quelli in calcestruzzo con le caratteristiche di "blocchi collaboranti".

Modalità di puntellamento provvisorio

Per ogni tipologia di solaio, la struttura resistente, deputata a reggere tutti i carichi provvisori, in fase di preparazione, è costituita:

- dal tavolato continuo (in legno o di qualsiasi altro materiale), per il solaio tradizionale, gettato in opera;
- dal travetto precompresso con la sua forma e la sua armatura di acciaio;
- dal travetto a traliccio formato dalla suola con relativa armatura in essa annegata nonché dal traliccio stesso;
- dalla nervatura gettata all'interno delle pareti dei blocchi di laterizio, nelle lastre.

Il puntellamento e l'impalcato provvisorio

Per tutte queste strutture resistenti provvisorie è prevista una stessa modalità di puntellamento che si riconduce:

- nel caso di solai in opera, a una serie di travi principali e secondarie opportunamente puntellate;
- nel caso di componenti prefabbricati (lineari o piani), a una serie di travi trasversali, rispetto alla orditura della nervatura, e sempre opportunamente puntellate.

Il numero e la sezione dei puntelli per ogni "rompitratta" provvisorio dipendono, ovviamente, dalle caratteristiche di resistenza della sezione del puntello, dalla sua lunghezza e dal carico che dovrà sostenere nella fase provvisoria del solaio, prima della maturazione del calcestruzzo. La pratica costruttiva dei solai in latero-cemento ha messo in campo un sistema abbastanza rapido e poco oneroso a cui si riferiscono tutti i sistemi alternativi.

Questi ultimi, specialmente quando sono "leggeri", devono prevedere, però, maggiori dispositivi stabilizzanti che evitino i movimenti indesiderati, specialmente durante le fasi di preparazione e getto, quando sono ancora "slegati" e vi sono carichi dinamici (movimentazione di attrezzature o di altri componenti, getto con pompa, ecc.).

L'apparecchiatura di sostegno provvisoria deve anche prevedere, in questi ultimi casi, che gli elementi di sostegno, a contatto con il componente deformabile, non alterino la planarità della superficie di intradosso a causa di deformazioni dovute al carico.

È il caso, ad esempio, dei solai con blocchi di polistirolo che necessitano di una tavola piana come rompitratta provvisorio (per distribuire i carichi su una maggiore superficie), invece del travicello utilizzato per i componenti rigidi.

Richieste di autoportanza o necessità di limitate puntellazioni possono essere risolte solo con l'impiego di prefabbricati opportunamente predisposti.

I pannelli in latero-cemento, avendo già le nervature gettate ed essendo già inserita, nella nervatura stessa, in prefabbricazione, l'armatura di acciaio, possono, fino a determinate lunghezze e per sovraccarichi previsti, essere impiegati senza alcun puntello.

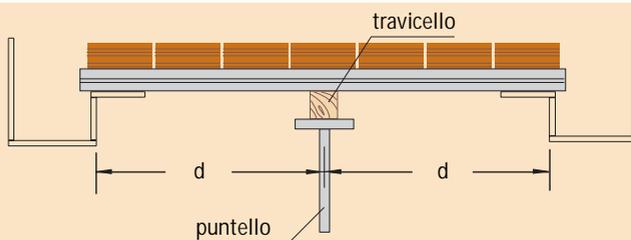
Anche le lastre con blocchi di laterizio si prestano ad avere le nervature, riempite di calcestruzzo, nei cantieri di prefabbricazione e quindi ad avere una adeguata sezione resistente che conferisce loro autoportanza.

In casi normali, per necessità di autoportanza, si possono adoperare travetti a sezione maggiorata che comunque non permettono grandi luci libere.

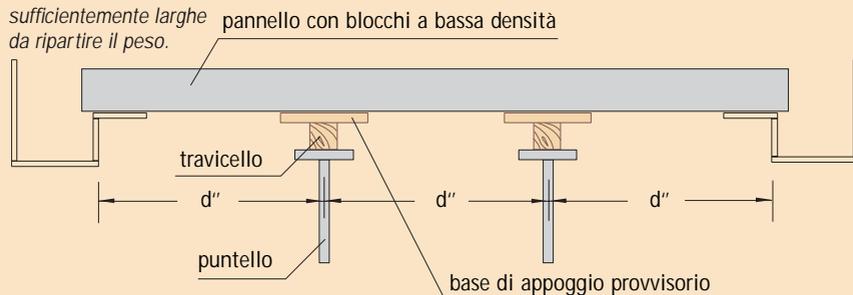
L'appoggio nelle zone di testata richiede una tavola orizzontale lungo il bordo sorretta dalla struttura provvisoria che può anche essere quella che regge la carpenteria della trave portante (fig. 20).

Fig. 20 - Organizzazione del puntellamento di un solaio:

a) per i componenti con intradosso in calcestruzzo sono sufficienti dei travicelli trasversali;



b) per i componenti con intradosso di materiale a bassa densità le basi di appoggio provvisorio devono essere sufficientemente larghe da ripartire il peso.



Unione alla struttura portante

Anche in questo caso, è opportuno distinguere le diverse tipologie di solaio.

Dispositivi di unione

Solai gettati in opera

Poiché tutta la parte resistente del solaio viene realizzata con il getto del calcestruzzo, è possibile disporre, in fase di preparazione, tutte le armature di ancoraggio alle travi principali. In particolare, l'armatura di acciaio, alloggiata all'interno delle cavità lineari, ricavate dall'accostamento delle file dei blocchi di laterizio, viene prolungata anche all'interno della trave, in modo da costituire un efficace collegamento inferiore.

Nella parte superiore delle nervature, è possibile disporre, con altrettanta facilità, le armature di acciaio a momento negativo. Tali armature possono essere della lunghezza voluta ed essere ripiegate verso la parte inferiore della nervatura in modo da ancorarsi efficacemente e collaborare alla resistenza al taglio. La stessa cosa, si è visto, è possibile per la armatura longitudinale inferiore che può essere rialzata in prossimità dell'appoggio.

Per campate contigue, il sistema permette la continuità delle nervature consentendo la disposizione di armature "passanti", sia nella zona inferiore che nella zona superiore, in modo da collegare una campata a quella adiacente, creando un efficace collegamento.

Sistemi, con blocchi diversi, che adottano la stessa tecnologia del getto di calcestruzzo in opera, presentano le stesse qualità dal punto di vista esaminato in questo paragrafo. Possono tuttavia presentare piccoli problemi per posizionare in modo fermo e certo l'armatura di acciaio e per conservare questa posizione durante il getto.

Solai a travetti ad armatura lenta (tralicciati)

Questi componenti presentano le armature, contenute nella suola, fuoruscenti alle testate in modo da poter essere inserite nelle travi principali. Il collegamento, alla trave, della zona superiore, è ottenuta, come al solito, mediante monconi di acciaio che proseguono, annegati nella soletta, verso la campata e possono essere piegati verso l'interno della nervatura.

Un efficace contributo al collegamento tra il componente prefabbricato e il calcestruzzo di completamento viene fornito dalla struttura spaziale di acciaio costituita dal traliccio (fig. 21.a).

Per la continuità fra due campate, molte volte l'armatura inferiore, già presente, non risulta essere sufficientemente lunga da interessare, dopo aver oltrepassato la trave, la nervatura della campata adiacente. Si rimedia con degli spezzoni di acciaio aggiuntivi disposti "a cavalletto" sui due travetti corrispondenti.

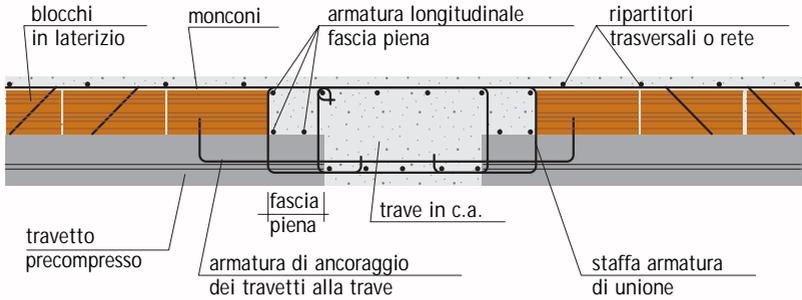
(a)



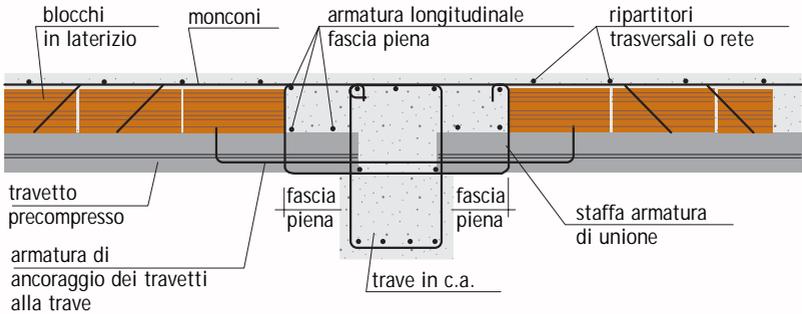
Travetto con armatura a traliccio

Fig. 21 - Unione alla struttura portante.

(b)

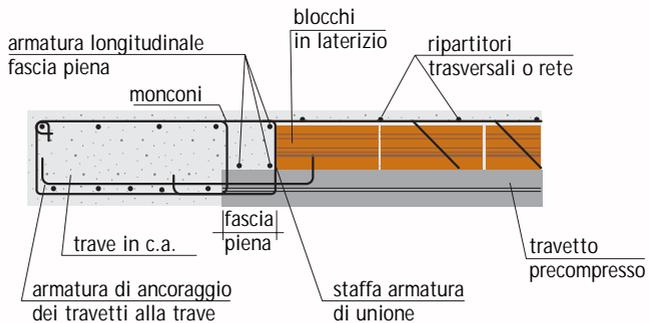


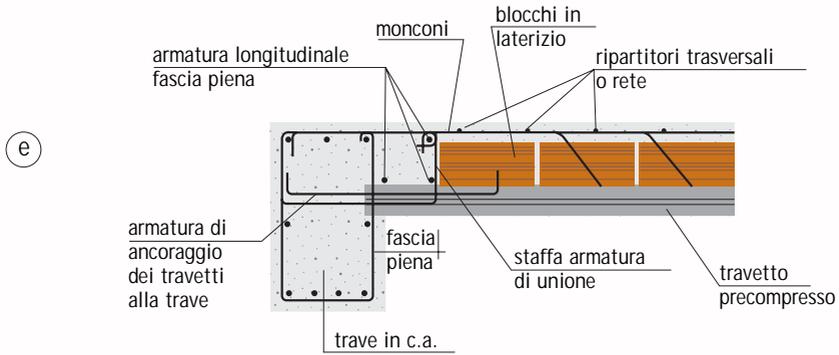
(c)



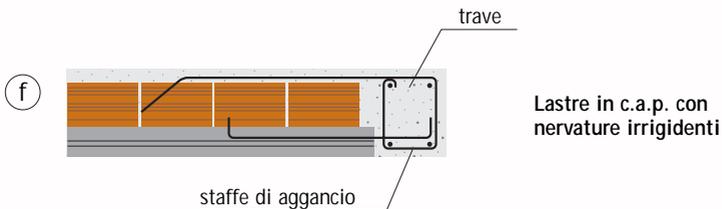
Armatura a momento positivo e negativo in corrispondenza di un appoggio intermedio.
Ancoraggio dei travetti in c.a.p.

(d)





**Armatura a momento positivo e negativo
in corrispondenza di un appoggio estremo.
Ancoraggio dei travetti in c.a.p.**



**Lastre in c.a.p. con
nervature irrigidenti**

Non vi sono, invece, problemi per la continuità delle parti superiori dove il tutto è sempre risolto da monconi disposti, anch'essi, a cavalletto.

Solai a travetti in c.a.p.

Molto più particolare è l'unione di questi componenti alle travi principali. Osservando gli schemi riportati si notano i seguenti dispositivi:

- due spezzoni di acciaio, adeguatamente dimensionati, disposti ai lati del travetto, nella zona inferiore della sezione di appoggio;
- delle staffe di acciaio ai lati del travetto, all'interno di una fascia piena. Tali staffe, alle volte, sono quelle dell'armatura della stessa trave; mentre, normalmente, sono delle armature appositamente formate per essere disposte ai lati del travetto. In tal caso hanno forma a "C" per poter essere facilmente inserite, con i bracci, all'interno della trave principale;
- una armatura superiore, a momento negativo, dimensionata opportunamente e ancorata alla trave principale. Anche per questa tipologia di solai, i monconi possono essere piegati verso la zona inferiore della nervatura.

E' necessaria, infine, una adeguata "fascia piena" per collegare il travetto alla trave.

Il collegamento tra il componente prefabbricato ed il calcestruzzo di completamento è assicurato, invece, dalla particolare forma dell'anima del travetto (a coda di rondine) e dalla aderenza tra i due calcestruzzi.

Nelle zone di continuità, l'armatura inferiore di collegamento dei due travetti adiacenti può essere costituita, oltre che dalle staffe inserite nella trave di separazione, anche da spezzoni di acciaio che interessino i due travetti per una certa lunghezza.

L'armatura superiore di collegamento tra le due campate è sempre la stessa dei casi precedenti (figg. 21.b; 21.c; 21.d; 21.e).

Solai a lastre in c.a.n. oppure in c.a.p.

Per le lastre ad armatura lenta, le barre di acciaio necessarie per il collegamento inferiore sono già presenti nella soletta e fuoriescono da essa. Per le lastre in c.a.p. si dovranno disporre degli spezzoni di acciaio di sezione totale opportunamente dimensionata, che interessino sia la trave che la superficie della lastra per una adeguata lunghezza.

In corrispondenza delle nervature, individuate, nelle lastre, dai blocchi di alleggerimento, si possono disporre, poi, le armature per il collegamento superiore resistenti al momento negativo. Anche queste armature possono essere piegate verso la zona inferiore nelle nervature.

Valgono gli stessi criteri dei travetti per le zone di continuità e gli stessi dispositivi nei due casi per il collegamento tra i due diversi calcestruzzi (figg. 21.a; 21.f).

Solai a pannello

L'armatura di collegamento per la parte inferiore deve essere necessariamente presente nel pannello prefabbricato. L'armatura superiore sarà successivamente disposta nella soletta di completamento.

Per il collegamento inferiore di due pannelli in continuità, bisognerà rinunciare alle barre di armatura passanti da una nervatura all'altra e accontentarsi dell'aggancio nella trave delle armature presenti nelle zone inferiori di ogni pannello.

In definitiva, i sistemi analizzati non presentano alcun problema per la solidarizzazione alle travi portanti. Tale collegamento, sempre di tipo rigido, rende perfettamente solidale il solaio alla struttura portante in modo da trarre importanti vantaggi statici e deformativi da tale solidarietà. Naturalmente, perché tale solidarietà sia realizzata in pieno è necessario che tutti i componenti del sistema concorrano in modo corretto alla formazione del solaio, assicurando con il loro reciproco comportamento che ognuno interagisca come ipotizzato teoricamente.

Modalità di completamento

Posizionamento delle armature

Il successo di una tecnologia deriva anche dalla sua versatilità, cioè dalle possibilità, da essa offerte, di ottenere tutti quegli adattamenti che si rendessero necessari sia per il normale sviluppo delle operazioni, al momento della preparazione, sia per la funzionalità della struttura, in esercizio.

Per tutte le tipologie valgono alcune caratteristiche peculiari dei solai che fanno uso di alleggerimento in blocchi di laterizio.

Prima fra tutte è la facile pedonabilità dell'impalcato provvisorio. Anche se i blocchi, per la loro caratteristica intrinseca, sono in grado di sopportare carichi concentrati superiori a 1,5 kN, delle semplici passerelle fatte con tavoloni appoggiati sui blocchi stessi permettono di distribuire meglio i carichi.

In ogni caso i blocchi garantiscono la indeformabilità, sotto carico, del piano di transito e di appoggio delle attrezzature e una grande stabilità delle passerelle.

Anche la rete metallica di armatura della soletta trova un comodo e stabile piano di appoggio su cui fissarsi con effettiva sicurezza di mantenimento della posizione prestabilita, anche durante le operazioni di getto con pompa, che normalmente è accompagnato da sollecitazioni di una certa entità e di difficile previsione.

Non altrimenti possibile è, per esempio, il mantenimento di tale posizione con un piano deformabile quale potrebbe essere quello ottenuto con alleggerimento di materiale leggero a bassa densità. E soprattutto, in quest'ultimo caso, non è garantita la indeformabilità dell'insieme.

La stessa garanzia di posizione viene offerta anche alle armature a momento negativo (monconi) per i quali è altrettanto importante mantenere il "braccio" della coppia di progetto.

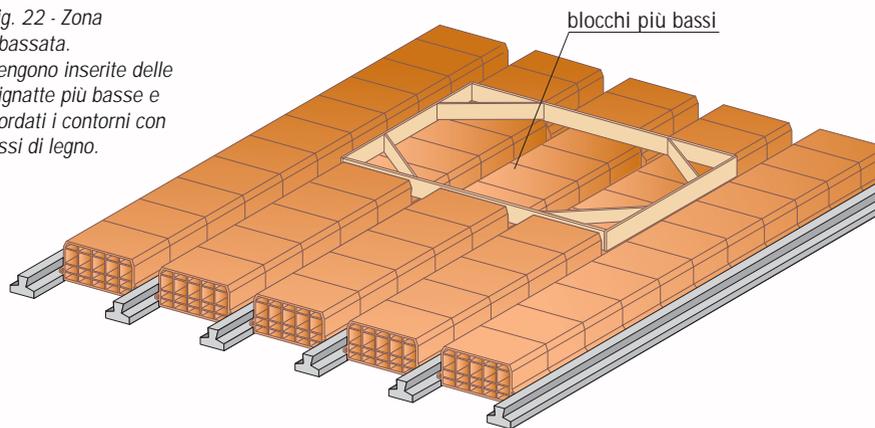
Ancora, la incompressibilità del piano di appoggio assicura il mantenimento del livello di estradosso, dopo il getto, senza sprechi di calcestruzzo che, al contrario, aumenterebbe in quantità con materiali compressibili (in virtù del suo stesso peso).

Altri vantaggi del piano di appoggio rigido, fornito dai blocchi di laterizio, sono quelli di poter disporre gli eventuali dispositivi preparatori, per sovrastrutture superiori (piastre o ferri di attesa, traguardi o riferimenti, sponde provvisorie, ecc.), in maniera stabile e fissa anche durante la lavorazione e il getto di completamento.

Un esempio abbastanza frequente è quello della predisposizione dei dispositivi per la realizzazione delle zone ribassate per le quali è necessario fissare, al piano provvisorio, le armature di acciaio e le sponde di contenimento in modo da avere superfici finali di getto a livello diverso (fig. 22).

Zone ribassate

Fig. 22 - Zona ribassata.
Vengono inserite delle pignatte più basse e bordati i contorni con assi di legno.



Si utilizzano infatti, in questo caso, blocchi più bassi che possono servire da guida alla formazione del livello inferiore. Se poi i blocchi sono di categoria B e l'area ribassata è di modeste dimensioni, si può evitare il getto della soletta.

La previsione, in esercizio, di grossi carichi concentrati o distribuiti linearmente, viene risolta con il rinforzo delle nervature interessate (ad esempio, mediante l'allargamento della sezione o il raddoppio dei travetti o mediante il coinvolgimento delle nervature adiacenti) o con la realizzazione di una superficie a distribuzione migliorata.

Tutte le operazioni ed esigenze prima descritte non sono molto facili da eseguire e soddisfare quando i componenti del sistema non sono dotati della necessaria resistenza, manovrabilità, versatilità e semplicità di posa. Per tali componenti è possibile l'impiego solo in condizioni standardizzate e con percorsi rigorosamente definiti.

Apertura di fori

Un altro problema molto sentito, e risolto egregiamente in presenza di solai in latero-cemento, è quello della formazione di zone forate.

Si possono, in ogni caso, praticare aperture di larghezza uguale a quella dei blocchi e di lunghezza praticamente pari a quella della luce o, in presenza di nervature trasversali, pari alla distanza tra la trave e quest'ultima, oppure tra due di esse.

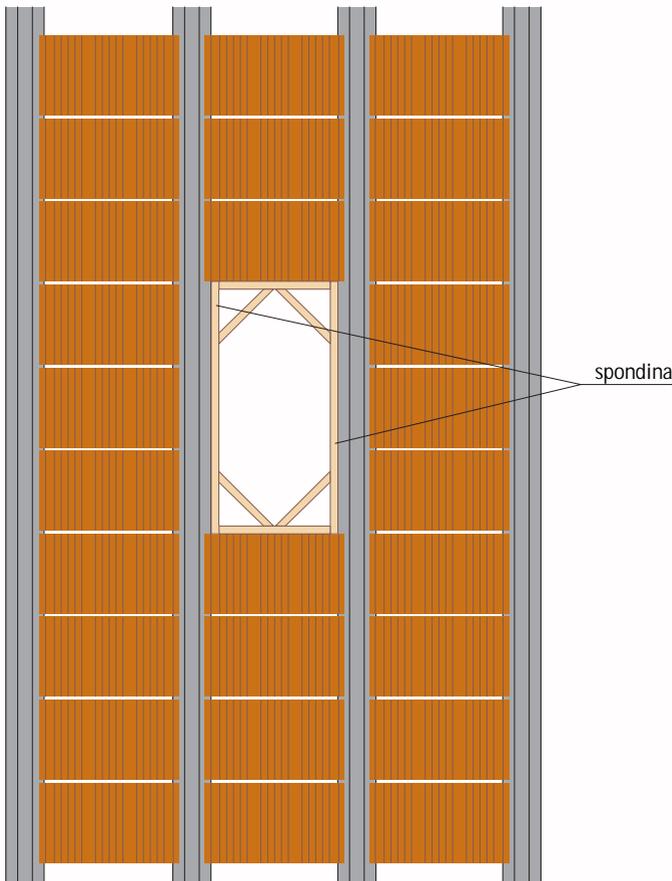
Per i pannelli o le lastre è, però, opportuno che tali aperture siano previste già in fase di confezionamento del componente prefabbricato.

È sempre possibile praticare aperture di dimensioni più grandi della larghezza del blocco disponendo travetti sui loro bordi o con semplici dispositivi (figg. 23; 24.a; 24.b; 25.a; 25.b).

Canalizzazioni di impianti

È sempre possibile inserire, nei fori dei blocchi, le canalizzazioni degli impianti elettrici che hanno direzione parallela a quella delle nervature.

In presenza di nervature trasversali è necessario prevedere dei fori orizzontali per il loro attraversamento (di solito si predispongono dei tubi resistenti al peso del calcestruzzo soprastante). I blocchi di laterizio sono in grado di reggere, all'intradosso, il peso degli eventuali corpi illuminanti. In caso di previsione di grossi pesi è tuttavia opportuno predisporre dei ganci che siano ancorati nella soletta o che interessino le nervature. Per impianti che prevedono la canalizzazione poggiata all'estradosso (piano di calpestio del livello superiore) non esiste problema di direzione di percorso ed è possibile in ogni caso, mediante foratura del solaio, portare i cavi all'intradosso per il previsto collegamento. Altrettanto possibile è il percorso, all'interno dei blocchi, di tubi per la distribuzione idrica, anche quelli che necessitano di una pendenza per il naturale deflusso. Si dispone, infatti, di parte dello spessore del blocco per tale necessità. Anche questi tubi possono avere direzione solo parallela alle nervature e sono da prevedersi attraversamenti in caso di presenza di nervature trasversali.



*Fig. 23 - Aperture.
Il foro ha una
dimensione uguale a
quella dei blocchi.*

Fig. 24.a - Foro di grande dimensioni nei solai a travetti e blocchi di laterizio.

Il rinforzo dei bordi principali si può ottenere con il raddoppio dei travetti.

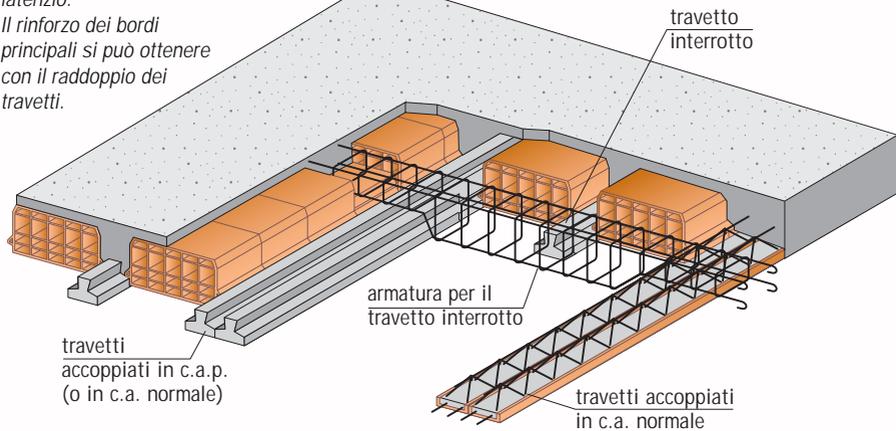
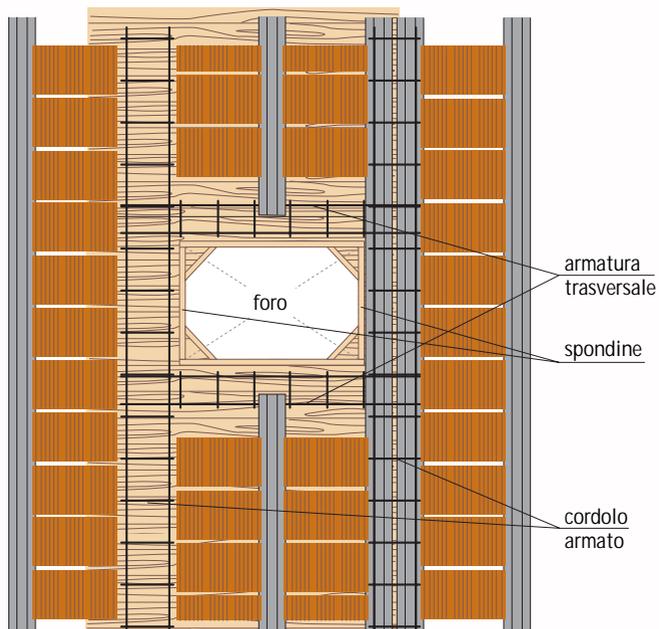


Fig. 24.b - Foro di grandi dimensioni nei solai a travetti e blocchi di laterizio. Il rinforzo dei bordi si ottiene realizzando delle apposite nervature o abbinando più travetti.



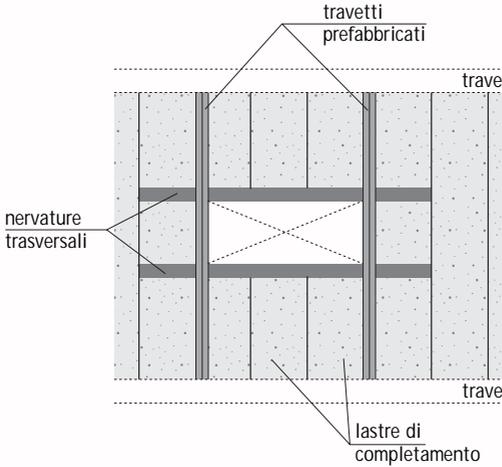


Fig. 25.a Realizzazione di apertura in un solaio a lastre.

Lungo la direzione principale, da entrambi i lati dell'apertura, si possono disporre dei travetti in modo da evitare l'uso di lastre di larghezze non standardizzate.

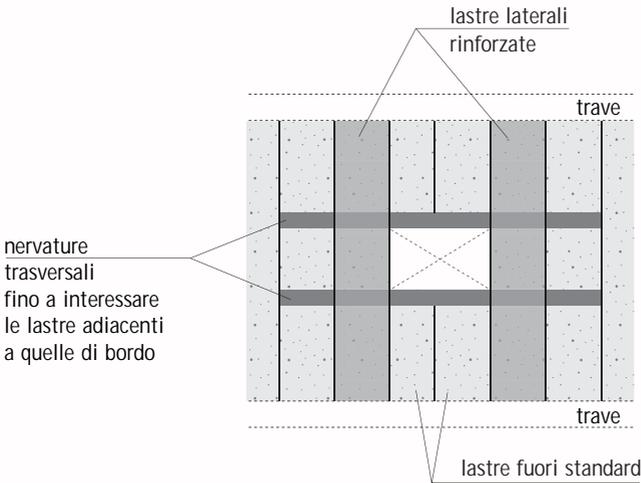
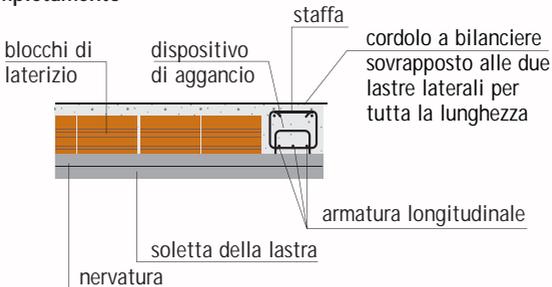


Fig. 25.b Realizzazione di apertura in un solaio a lastre.

Le due lastre laterali sono di misura standard, però rinforzate; per la zona intermedia si produrranno delle lastre di lunghezza determinata dalle dimensioni del foro e dalla sua posizione e di larghezza anche diversa da quella standard.

soletta di completamento



Modalità di rifinitura all'intradosso

Il miglior modo di rifinitura all'intradosso, specie per destinazione di civile abitazione, resta la realizzazione di un intonaco a base di malte naturali, quali quelle tradizionali (a base di cemento e calce). La bontà del sistema di rifinitura è legata molto alla necessità di salubrità dell'ambiente abitativo; salubrità che si traduce, soprattutto, in:

- mancanza di sviluppo di emissioni di gas dannosi, di alcun tipo, a seguito dell'invecchiamento del materiale;
- possibilità di assorbire l'eccesso di umidità eventualmente presente nell'aria per poi cederla in momenti di necessità (regolazione dell'umidità dell'aria);
- possibilità di avere buone caratteristiche di smaltimento dell'umidità stessa attraverso adeguate caratteristiche di permeabilità del materiale.

Da tutto ciò deriva la necessità, ancora non superata, di utilizzare intonaci a base di cemento e calce e, di conseguenza, di poter disporre di supporti in grado di recepire con sicurezza tali prodotti.

Soprattutto, ancora, deriva la necessità di creare una simbiosi con essi in modo da esaltare quelle caratteristiche che sono alla base di una corretta "qualità dell'abitare".

L'intradosso di un solaio in latero-cemento si presta molto bene, dunque, ad accettare un intonaco di tipo tradizionale.

Giocano molto, per questo aspetto, molti fattori tra cui i più importanti sono la sicura affinità del laterizio all'intonaco, la sua indeformabilità come supporto, le sue caratteristiche superficiali (rigatura dei blocchi, la soluzione di continuità tra i blocchi e i travetti oppure tra due blocchi adiacenti, nel caso di solai in opera o a pannelli).

Qualora si impieghino materiali di intonaco a base cementizia, aventi resistenza caratteristica a trazione superiore a 1 N/mm^2 , dovranno adottarsi spessori inferiori ad 1 cm o, in alternativa, predisporre armature di sostegno e diffusione opportunamente ancorate.

Prestazioni

Statica

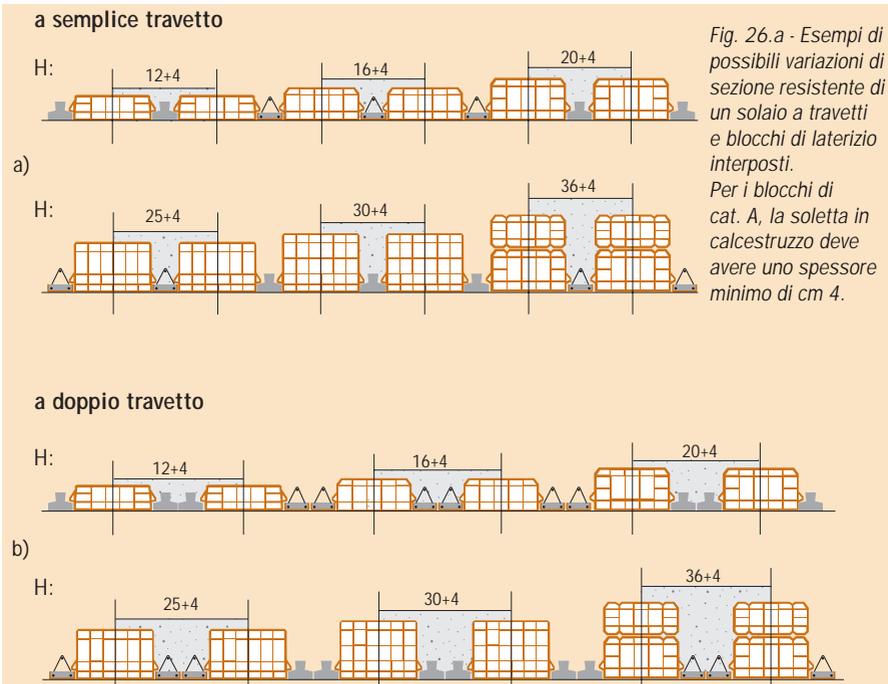
Il calcolo di un solaio in latero-cemento dispone di tutti i riferimenti della Scienza delle Costruzioni classica, nonché delle normative tecniche attualmente in vigore.

Si tratta, infatti, di una struttura in cemento armato per la quale si è raggiunto un alto grado di definizione teorica e pratica, ampiamente collaudata, e dalla quale si ottiene un altrettanto alto grado di sicurezza.

Non è altrettanto sostenibile per sistemi alternativi per i quali, molte volte, non si dispone di un affidabile modello di calcolo, o per i quali non si è ancora raggiunta una sufficiente sperimentazione, nel tempo, che dimostri la affidabilità di una previsione ottenuta per via teorica.

Sezioni resistenti

Nel caso dei solai in latero-cemento, la grande varietà tipologica e di formati dei componenti, esistente sul mercato, e la grande flessibilità del sistema, permette di realizzare solai di differenti altezze e di portate diverse (larghezza delle nervature, armature dei componenti, ecc.) (figg. 26.a; b).



Sono in commercio, infatti, blocchi unici di laterizio di altezza fino a 30 cm, con i quali, considerando una soletta fino a cm 10, si possono realizzare solai di altezza fino a cm 40. Altezze maggiori si ottengono con blocchi sovrapposti opportunamente studiati.

Non è possibile ottenere con altri materiali blocchi di tali dimensioni, con le caratteristiche di resistenza definite dalle normative e con un limitato peso proprio. Blocchi di analoghe resistenze meccaniche, ad esempio di calcestruzzo, hanno, però, un peso molto elevato che, oltre a renderne difficoltosa la maneggiabilità, risulta in contrasto con le norme di sicurezza.

Con una altezza di solaio di 45 cm, usando travetti in c.a.p., si possono coprire luci anche di m 13,00 con carichi anche abbastanza rilevanti.

Confronto dei pesi propri con altre tipologie

Fig. 27 - Confronto dei pesi di alcune tipologie di solaio.

Non esistono, attualmente, sistemi affidabili che permettano di coprire luci di tali dimensioni, con carichi anche elevati, rimanendo nella tecnologia di tipo tradizionale ancora insuperata quanto a potenzialità di esecuzione (per la presenza di un buon repertorio di regole dell'arte, di una nutrita schiera di operatori esperti).

Una delle caratteristiche su cui più frequentemente si concentra l'attacco da parte dei sistemi concorrenti è il peso proprio, ritenuto molto alto nelle soluzioni in laterizio (fig. 27).

Tipo	Altezza (cm)	Peso a piè d'opera	Peso proprio in opera
1) lastre (predalles) con alleggerimento in laterizio 	H = 5 + 12 + 4	185 kg/m ²	370 kg/m ²
	H = 5 + 16 + 4	190 kg/m ²	390 kg/m ²
	H = 5 + 20 + 4	190 kg/m ²	415 kg/m ²
2) latero-cemento 	H = 16 + 4	90 kg/m ²	280 kg/m ²
	H = 20 + 4	106 kg/m ²	300 kg/m ²
	H = 24 + 4	118 kg/m ²	335 kg/m ²
3) polistirolo irrigidito con nervatura in cls 	H = 18 + 4	25 kg/m ²	190 kg/m ²
	H = 22 + 4	25 kg/m ²	215 kg/m ²
	H = 26 + 4	25 kg/m ²	240 kg/m ²
4) polistirolo irrigidito con lamierini 	H = 16/3 + 4	6,2 kg/m ²	189 kg/m ²
	H = 20/3 + 4	6,8 kg/m ²	208 kg/m ²
	H = 24/3 + 4	7,5 kg/m ²	227 kg/m ²
5) legno-cemento 	H = 12 + 3 + 5	15 kg/m ²	155 kg/m ²
	H = 16 + 3 + 5	23 kg/m ²	164 kg/m ²
	H = 20 + 3 + 5	33 kg/m ²	175 kg/m ²
6) blocchi di calcestruzzo normale 	H = 16 + 4	126 kg/m ²	325 kg/m ²
	H = 20 + 4	148 kg/m ²	370 kg/m ²
	H = 24 + 4	166 kg/m ²	416 kg/m ²

Taluni ritengono, infatti, che questo “inconveniente” si traduca in:

- maggiori oneri di puntellamento provvisorio;
- un grosso aggravio degli scarichi in fondazione e quindi maggiori oneri per le strutture;
- una maggiore massa vibrante, in caso di sisma, maggiore valore delle forze sismiche orizzontali per ogni piano, maggiore impegno per i pilastri e quindi maggior costo delle strutture verticali.

E' da tener conto, però, che nel primo caso un buon peso proprio è garanzia di stabilità del manufatto, in fase di preparazione, quando i componenti sono ancora “sciolti” e sono in procinto di essere assoggettati a forti sollecitazioni (lavorazioni e getto del calcestruzzo); nel secondo caso, poi, normalmente, anche differenze di 100 kg/m² sul peso proprio corrispondono a una percentuale di appena il 15% in più rispetto al carico totale del solaio (da prendere in considerazione nei calcoli): quindi, per la maggior parte delle costruzioni (normalmente a 3÷4 piani), non si ha una influenza sensibile sul carico ammissibile in fondazione. Per il terzo problema, infine, si deve ricordare che questa maggiore massa (in virtù della effettiva collaborazione del laterizio) attribuisce una maggiore rigidità al solaio (e, per conseguenza, al piano), che si traduce in una maggiore indeformabilità e, quindi, in un beneficio per le strutture portate (i tramezzi, gli impianti, ecc.) e una conveniente ripartizione della forza orizzontale sui pilastri.

Non tutti i solai alternativi sono in grado di garantire, in particolare, quest'ultima importante prestazione. La loro scarsa rigidità flessionale li rende, infatti, alquanto deformabili, creando problemi ai tramezzi, agli impianti e, soprattutto, distribuendo la forza orizzontale sui pilastri in maniera diversa da quella preventivata, con evidenti pericoli per la statica del fabbricato.

Inoltre, poiché sia la logica costruttiva del solaio in latero-cemento nonché la logica funzionale dei materiali impiegati sono affini a quella delle strutture verticali (pilastri in cemento armato), si può influenzare il comportamento dell'uno attraverso opportune scelte di dimensionamento dell'altro. Normalmente, infatti, si possono limitare le sollecitazioni flessionali nei ritti (pilastri o setti-parete) attraverso una opportuna scelta di rigidità del solaio, e viceversa.

Un confronto con un solaio alternativo (in polistirolo) presente sul mercato rivela che, nella maggior parte dei casi, il rapporto luce/carico/spessore è sempre più favorevole per un solaio in latero-cemento con analoghe funzioni e prestazioni. E questo vantaggio risulta confermato nonostante non si tenga alcun conto della collaborazione del laterizio nella struttura (fig. 28): si noti che per un solaio con alleggerimento in polistirolo, pur pesando, questo, 100 kg/m² in meno, è tuttavia richiesta una maggiore quantità di armatura di acciaio per metro quadrato.

Nuove norme tendono, poi, a prevedere uno spessore minimo di soletta pari a 4 cm, quando si tratti di blocchi dotati di resistenza, e uno spessore minimo pari a 5 cm, nel caso di blocchi leggeri. Se poi

Confronto della portata con solaio in polistirolo

Fig. 28 - Confronto tra le soluzioni 20+4 e 26+4 cm (da catalogo) di un solaio con blocchi di polistirolo con analoghe soluzioni in latero-cemento, a parità di classe di resistenza del calcestruzzo e dell'acciaio.

si condidera la maggiore quantità di calcestruzzo che viene posata, a parità di spessore effettivo finito, a causa della diminuzione di altezza per compressione (sotto il carico del getto), il vantaggio del minor peso verrebbe a ridursi sensibilmente.

Altezza totale H 20+4	Carico totale compreso il peso proprio kg/m ²	Luce m	M = 1/8 q l ² kg x m	Armatura totale inferiore cm ²
Laterizio	700	5,00	2187	5,30
Polistirolo	600	5,00	1875	5,75

Altezza totale H 26+4	Carico totale compreso il peso proprio kg/m ²	Luce m	M = 1/8 q l ² kg x m	Armatura totale inferiore cm ²
Laterizio	800	6,00	3600	6,94
Polistirolo	700	6,00	3150	7,54

Termoigrometria

Il problema strettamente legato alle caratteristiche di trasmittanza termica vede il solaio in latero-cemento in condizioni di apparente inferiorità rispetto a tutti quei sistemi che impiegano alleggerimenti a bassissimo peso specifico.

Questo, però, è un falso problema, soprattutto nel confronto con quei sistemi che comunque affidano la funzione strutturale al cemento armato; per i seguenti motivi:

- la parte strutturale in cemento armato rappresenta, comunque, una situazione di forte dispersione termica. Tale parte del solaio, a parità di portata, è uguale per tutte le tipologie, a prescindere dal sistema;
- i solai alternativi, per loro concezione di sistema, fanno uso di uno strato di materiale leggero (per alcuni centimetri di spessore) al di sotto delle nervature. Il che vuol dire che per essi si devono distinguere uno spessore strutturale e uno spessore di isolamento termico che, insieme, concorrono allo spessore totale del solaio (fig. 29). Sarebbe la stessa cosa se, ad un solaio in latero-cemento, si applicasse, all'intradosso, uno strato di isolante qualunque dello stesso spessore. Si avrebbe il vantaggio di poterlo fare successivamente, in un momento di lavorazioni meno grezze, con minori pericoli di danneggiamento dello strato e con facilitazioni di operatività della fase di preparazione del solaio. E' da notare, poi, che il problema dell'isolamento termico si pone soprattutto per i solai che separano ambienti a temperature diverse (ultimo piano, piano su piloti, oppure su ambienti non riscaldati), sottolineando che è anche diverso il modo ottimale di trattare le speci-

fiche situazioni appena indicate. Infatti, il solaio di ultimo piano è più opportuno che abbia maggiore spessore rispetto a quello previsto strettamente dai calcoli e che un maggior grado di isolamento sia ottenuto dall'esterno (con una strato da applicare all'estradosso); mentre, per un solaio su piano con ambienti a diversa temperatura, i miglioramenti termici dovranno essere studiati caso per caso;

- a parità di spessore e di altre condizioni, si hanno maggiori benefici, nell'isolamento termico, quanto maggiore è l'interasse delle nervature e quindi maggiore è la superficie di materiale isolante che si oppone al flusso termico. Questo vuol dire, per conservare le portate, che è necessario un maggiore impegno delle nervature, con tutto quello che ne può derivare (problemi di deformabilità, di resistenza ai carichi concentrati verticali, ecc.) (fig. 30).

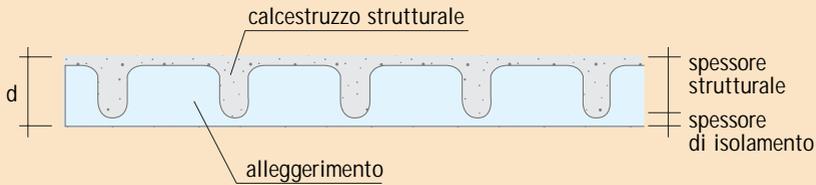


Fig. 29 - Schema generale di un solaio in cemento armato con alleggerimento di materiale a basso peso specifico che copre completamente la superficie di intradosso. L'ingombro totale del solaio è formato dallo spessore dovuto alla parte strutturale e dallo spessore dello strato di isolamento.

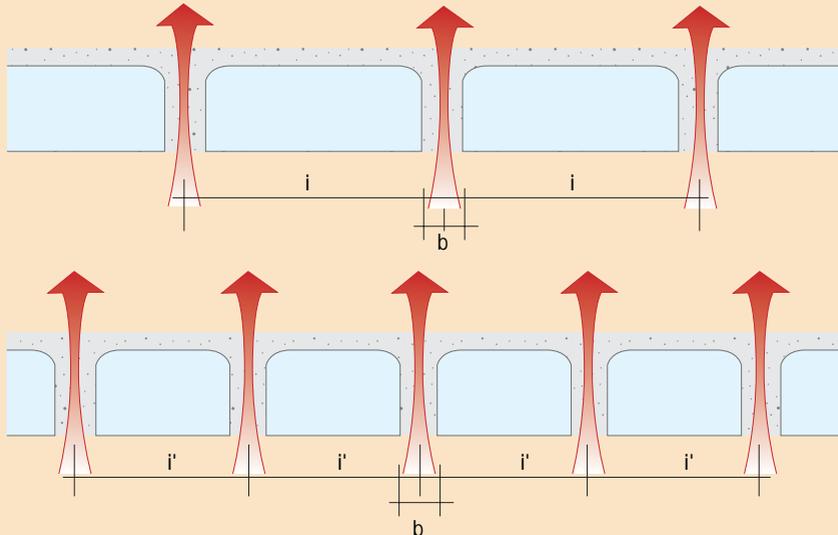


Fig. 30 - L'interasse fra le nervature e la loro larghezza influisce molto sulla trasmittanza termica di un solaio; questa dipende poco dal materiale usato per l'alleggerimento.

In ogni caso, se le parti strutturali sono simili per dimensioni, quando manca lo strato coibente su tutta la superficie dell'intradosso, i valori di trasmittanza, al variare del tipo di materiale adoperato per l'alleggerimento, si mantengono all'interno dello stesso ordine di grandezza. Questo perché le maggiori dispersioni si hanno proprio attraverso le parti strutturali, di cemento armato, e la conducibilità apparente dei blocchi di laterizio è abbastanza simile a quella di blocchi omogenei, di altro materiale, con la stessa densità apparente (figg. 31; 32);

- il confronto deve essere fatto a parità di spessore e di portata;
- le caratteristiche strutturali devono essere comparabili;
- per ragioni di miglioramento statico, sarebbe più opportuno realizzare il solaio di ultimo piano o il solaio su piano piloti con maggiore altezza strutturale rispetto a quella dei solai intermedi (anche a parità di portata o con portate inferiori). Si otterrebbe, di conseguenza, un naturale miglioramento della trasmittanza con costi bassissimi, quasi inesistenti, con tutti i vantaggi che derivano da una maggiore massa. Sempre, poi, è conveniente, come accennato prima, che l'ulteriore miglioramento dell'isolamento avvenga dall'esterno con la applicazione di altri strati all'estradosso. In tal modo, infatti:
 - si isola in maniera più immediata dal calore estivo;
 - si dispone di una massa più pesante, ad alto calore specifico (il calcestruzzo ed il laterizio), in strati a temperatura più alta, con buon effetto di inerzia termica;
 - si evita che il calcestruzzo strutturale (di solito a bassa permeabilità) si trovi in strati a temperature più basse che danno luogo a una minore pressione di saturazione del vapor d'acqua che può portare alla formazione di condensa;
 - si rende tutto l'involucro dell'ambiente (muri e solai, inclusi i ponti termici) con valori paragonabili di trasmittanza e permeabilità. Avere una grossa differenza tra questi valori porta sicuramente a degli scompensi privilegiando migrazioni di vapore verso l'uno o l'altro elemento e creando pericoli di saturazione e di condensa;
 - si usano, questi strati, per creare le pendenze necessarie allo smaltimento delle acque;
- è sempre preferibile avere, specialmente all'interno di ambienti normalmente vissuti (civile abitazione, uffici, scuole, ecc.), materiali di completamento (intonaci, rivestimenti, finiture in genere) non di tipo sintetico, bensì di tipo "naturale", chimicamente stabili, e soprattutto in grado di stabilire un equilibrio termo-igrometrico tra interno ed esterno;
- occorre sempre considerare il diverso impatto ecologico dei materiali impiegati nella costruzione di un edificio al momento della sua demolizione.

Fig. 31 - Tabella comparativa dei valori di trasmittanza di diversi tipi di solai.

Si nota come, aggiungendo uno strato di materiale isolante leggero al solaio in latero-cemento, (superiormente o inferiormente), si possono ottenere dei valori di trasmittanza analoghi a quello di un sistema alternativo, a parità di ingombro totale: naturalmente con migliore portata del solaio in latero-cemento e con migliori condizioni di lavorazione.

Tipo di solaio	Spessore (cm) strutturale	Spessore (cm) isolamento	Spessore (cm) ingombro totale	Trasmittanza $W / m^2 \times K$
Solaio in latero-cemento ¹⁾	20 + 5	0	25	1,85
	20 + 5	3 (polistirolo)	28	0,82
	20 + 5	5 (polistirolo)	30	0,60
Solaio in latero-cemento ¹⁾	25 + 5	0	30	1,58
	25 + 5	3 (polistirolo)	33	0,77
Solaio con blocchi di alleggerimento in polistirolo ²⁾	20 + 4	3	27	0,45

1) Valore in opera, con umidità di equilibrio (valore reale).
2) Valore per materiale asciutto. Il valore con umidità di equilibrio dovrebbe essere aumentato di almeno il 10%.

Fig. 32 - Tabella delle caratteristiche termiche di solai con blocchi interposti e travetti in c.a. precompresso o c.a. normale (traliccio) secondo la norma UNI 10355.

Altezza solaio cm	Tipo di nervatura resistente	Resistenza termica unitaria (senza intonaco) $R (m^2 \cdot K/W)$	Trasmittanza con intonaco (cm 1,5 + cm 1,5)	
			$U (W/m^2 \cdot K)$	$U (kcal/h \cdot m^2 \cdot K)$
12 + 5	Monotrave (inter. cm 50)	0,28	2,08	1,80
	Bitrave (inter. cm 62)	0,22	2,38	2,05
16 + 5	Monotrave (inter. cm 50)	0,31	1,96	1,69
	Bitrave (inter. cm 62)	0,25	2,22	1,92
20 + 5	Monotrave (inter. cm 50)	0,34	1,85	1,60
	Bitrave (inter. cm 62)	0,28	2,08	1,80
25 + 5	Monotrave (inter. cm 50)	0,43	1,58	1,37
	Bitrave (inter. cm 62)	0,34	1,85	1,60
30 + 5	Monotrave (inter. cm 50)	0,44	1,56	1,35
	Bitrave (inter. cm 62)	0,36	1,78	1,54
35 + 5	Monotrave (inter. cm 50)	0,58	1,28	1,10
	Bitrave (inter. cm 62)	0,45	1,53	1,33

- se si analizzano le situazioni prospettate in figura 31, si nota che, dal punto di vista della "resa" in isolamento, si può facilmente riportare un solaio in latero-cemento alle stesse condizioni di un solaio con blocchi a bassissima densità. Il vantaggio sarebbe quello di applicare lo strato leggero nella parte superiore del solaio (dove è meno problematica), di poterlo fare in un momento più opportuno per le lavorazioni (in fase di preparazione del solaio) e di risolvere meglio tutti i casi particolari.

Prestazioni acustiche

Per l'isolamento acustico da rumori aerei vale la "legge della massa" e quindi i solai in latero-cemento risultano abbastanza idonei, con valori che risultano soddisfacenti per i limiti imposti dal D.P.C.M. 5/12/97. La figura 33 riporta i valori degli "indici di valutazione del potere fonisolante" per solai in latero-cemento (misurati in laboratorio ed in opera), ancora grezzi. A tali valori sono da aggiungersi i miglioramenti dovuti agli strati di completamento e rifinitura quali il sottofondo e la pavimentazione.

Si nota, comunque, che già, allo stato grezzo, i valori di isolamento acustico per solai di spessori normali tendono a rispettare le norme. E' da sottolineare che, nel caso delle prestazioni acustiche, i solai di copertura dell'ultimo piano sono da ritenersi pareti esterne e quindi i valori sono molto maggiori rispetto a quelli prescritti.

Per l'isolamento dai rumori da calpestio (rumori da percussione) il solaio in latero-cemento è ritenuto un sistema che trasmette facilmente il rumore.

A tale proposito, per la natura stessa delle continuità strutturali di una struttura portante, si instaurano dei percorsi preferenziali, di passaggio del rumore, che è molto difficile eliminare con un componente prefabbricato anche se appositamente studiato per lo scopo.

Sempre e comunque, il modo migliore per l'isolamento da rumori da calpestio, per un qualsiasi tipo di solaio, è quello di procedere all'applicazione, all'estradosso, di strati di materiale idoneo. In questo modo è possibile, con gli opportuni risvolti, proteggere dalla trasmissione dei rumori attraverso i "ponti acustici" creati dalle continuità strutturali.

Ancora una volta è meglio intervenire, dunque, in momenti successivi durante operazioni meno grezze.

Fig. 33 - Prestazioni acustiche di solai in latero-cemento.

Indici di valutazione del potere fonoisolante di solai in latero-cemento in laboratorio e in opera					
Tipologia solaio	Spessore (cm)	Laboratorio		In opera	
		luce (m)	Rw	luce (m)	R'w
Travetti a traliccio e laterizio	16+4	3,3	49,0	3,60	49,0 50,5
Travetti a traliccio e laterizio	20+4	3,3	50,0	3,70	49,5 50,0
Travetti in cls precompresso e laterizio tipo A	16+4	3,3	48,5		
Travetti in cls precompresso e laterizio tipo A	20+4	3,3	47,5		
Travetti in cls precompresso e laterizio tipo B	16,5+4	3,3	47,5		
Travetti in cls precompresso e laterizio tipo B	20+4	3,3	50,0	3,70	51,5 51,0
Pannello e laterizio tipo B	16,5+4	3,3	48,5		
Pannello e laterizio tipo B	20+4	3,3	52,5	3,70	51,0 50,5
Lastra in cls e polistirolo	4+16+4	3,3	50,5	5,00	49,0 48,5
Latra in cls e polistirolo	4+20,5+4	3,3	53,5		
Lastra in cls e laterizio	4+12+4	3,3	51,5		
Lastra in cls e laterizio	4+16,5+4	3,3	53,5	5,00	54,5 55,5
Solaio sperimentale	20+4	3,3	51,5		

Livello di calpestio normalizzato di solai grezzi in latero-cemento: Indice di valutazione L_{nw} e livello ponderato dB (A)

Tipologia solaio	Spessore (cm)	Luce (m)	L _{nw}	dB(A)
Lastra in cls e laterizio	4+16+4	5,00	72,0	75,8
Travetti in cls precompresso e laterizio	16+4	3,60	87,0	90,2
Travetti a traliccio e laterizio	16+4	3,60	83,5	86,4
Travetti a traliccio e laterizio	20	3,60	92,0	95,0
Lastra in cls e polistirolo	4+16+4	5,00	75,0	78,8
Lastra in cls e polistirolo	4+12+4	3,60	80,5	85,1
Travetti a traliccio e laterizio	20+4	5,40	84,5	87,4
Travetti in cls precompresso e laterizio	20+4	5,40	84,5	86,8
Pannello	20+4	5,40	82,5	86,1
Travetti a traliccio e laterizio	20+4	3,70	85,0	87,8
Travetti in cls precompresso e laterizio	20+4	3,70	74,5	77,5
Pannello	20+4	3,70	86,0	88,3

Protezione al fuoco

Dal punto di vista della "reazione al fuoco" i blocchi di laterizio sono da ritenersi completamente incombustibili, cioè di *classe zero*.

Per l'isolamento al fuoco, si fa riferimento alla Circolare del Ministero dell'Interno n. 91 del 1961 (fig. 34), in cui sono riportate delle tabelle che associano, a uno spessore di solaio in laterizio, un valore della classe di resistenza al fuoco (indice REI).

Fig. 34 - Spessore minimo dei solai secondo la Circolare 91/61 del Ministero dell'Interno in funzione delle diverse classi di resistenza (REI).

Tipo di solaio	Spessore minimo comprensivo della cappa del pavimento non combustibile e del soffitto quando questo è applicato alla soletta, espresso in cm, per le seguenti classi di edifici						
	15	30	45	60	90	120	150
Solaio in c.a.							
- con intonaco normale (1,5 cm)	10	10	12	14	16	20	22
- idem con intonaco isolante (1,5 cm)	10	10	12	14	14	16	16
- idem con soffitto sospeso	8	8	10	12	12	14	14
Solaio in laterizio armato con intonaco normale (1,5 cm)	16	16	20	24	24	30	30
- idem con intonaco isolante (1,5 cm)	14	14	18	18	20	24	24
- idem con soffitto sospeso	12	12	16	16	18	22	22
(*) Elementi in c.a. precompresso con intonaco normale (1,5 cm)	16	16	20	24	24	30	30
- idem con intonaco isolante (1,5 cm)	14	14	18	20	24	24	24
- idem con soffitto sospeso	12	12	16	16	18	22	22

(*) Lo spessore del ricoprimento dell'armatura in acciaio preteso non deve essere inferiore né al minimo prescritto dal Regolamento per le opere in c.a. (3 cm), né allo spessore specifico per le singole classi dalla Tabella 5 per l'intonaco di cemento.

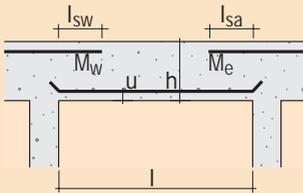
Si nota che spessori di solai normali, per le normali portate, offrono una resistenza al fuoco di valore abbastanza alto da coprire tutte le esigenze costruttive. Il vantaggio ulteriore deriva dalla completa assenza di reazione al fuoco, senza aggiunta di alcun materiale protettivo, e, di conseguenza, la completa stabilità chimico-fisica che assicura assenza di produzione di gas nocivi o di sostanze dannose alla salute.

Molto più interessante è la proposta di valutazione della resistenza al fuoco mediante "ingresso" in una tabella di caratteristiche costruttive, prevista dal progetto di norme europea prEN 15037-2. Essa, infatti, indica una serie di condizioni che devono essere rispettate perché una struttura portante orizzontale sia di buona affidabilità in caso di incendio (fig. 35). Tali condizioni si riferiscono soprattutto ai momenti sugli appoggi (M_o , M_w), al prolungamento dei monconi verso il centro della campata e al copriferro.

Sono, queste, proprio le modalità normalmente perseguite in un solaio in latero-cemento perché la tecnologia stessa lo permette e perché vi è un contributo alla resistenza offerto dal blocco di laterizio; situazioni che non possono verificarsi con le tecnologie alternative.

Fig. 35 - Requisiti minimi per assicurare i differenti livelli di resistenza al fuoco.

Condizione degli appoggi	Valori minimi	Livelli di resistenza al fuoco				
		15	30	60	90	120
Nessuna armatura negli appoggi $\frac{M_w + M_e}{2 M_o} = 0$	$(h_2 + e)$ (cm)	4	5	6	8	10
	b (cm)	8,5	8,5	8,5	2x8,5	2x8,5
	b_o (cm)	6	7	10	10	18
	h_o (cm)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	u distanza dell'intradosso al centro dell'armatura di mezzeria	2	2	2	3	3
	minimo numero di strati inferiori	1	1	2	2	2
	minimo numero dei componenti di armatura inferiore in mezzeria	2	2	3	4	4
Con armatura agli appoggi $\frac{M_w + M_e}{2 M_o} \geq 0,50$	$(h_2 + e)$ (cm)	4	5	6	8	10
	b (cm)	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
	b_o (cm)	6	7	10	10	18
	h_o (cm)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	u distanza dell'intradosso al centro dell'armatura di mezzeria	2	2	2	3	3
	minimo numero di strati inferiori	1	1	1	2	2
	minimo numero dei componenti di armatura inferiore in mezzeria	2	2	2	3	3
lunghezza del prolungamento verso la campata della barra superiore a momento negativo	0,25	0,25	0,30	0,40	0,50	



M_o = momento statico per la combinazione di azioni considerate per la sicurezza al fuoco

NOTA: Livelli più alti di resistenza si possono ottenere applicando uno strato di intonaco sul soffitto; 1 mm di intonaco corrisponde a 1,8 mm di ricoprimento in calcestruzzo.



Via A. Torlonia, 15 - 00161 Roma
Tel. 0644236926 - Fax 0644237930
www.laterizio.it - andil@laterizio.it



PRODOTTI ANDIL
ASSOLATERIZI
www.solaioinlaterizio.it
info@solaioinlaterizio.it