

UNIVERSITÀ DI PISA

DICI - Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

TECNOLOGIA DELLE COSTRUZIONI

Ing. Marco Palazzuoli

STRUTTURE DI ELEVAZIONE A TELAIO IN ACCIAIO

Il successo dell'impiego dell'acciaio nelle strutture portanti che richiedono elevate prestazioni in termini di resistenza, di leggerezza e di snellezza (rapporto fra lunghezza e superficie di sezione dell'elemento costruttivo) è facilmente intuibile dall'analisi del rapporto fra tensione ammissibile e peso specifico (f_y/p) dei diversi materiali da costruzione.

Le caratteristiche dell'acciaio sono variabili in relazione:

1. alla qualità (tenore di carbonio)
2. alla lavorazione (trafilatura, laminazione, o caldo o a freddo)

consentono la produzione di elementi che vengono opportunamente sagomati e dimensionati in base alla tipologia dei carichi cui sono soggetti e della resistenza ammessa in fase di esercizio.

Gli elementi semilavorati utilizzati per la realizzazione di strutture di elevazione in acciaio sono generalmente profilati di sezione e dimensione standardizzata, ottenuti per laminazione.

Le sezioni più comuni sono o **T**, o **doppio T**, o **L** e o **C**.

Lo sezione o doppio T è molto efficiente, perché consente di ottimizzare la resistenza alle azioni flettenti, presentando poco materiale in corrispondenza dell'asse neutro e offrendo più materiale in corrispondenza delle aree della sezione sollecitate dagli sforzi maggiori (trazione-comprensione).

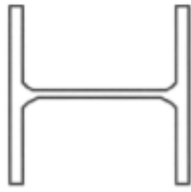
I **pilastr**i vengono o realizzati preferibilmente con elementi a doppio T, dove lo sezione ha altezza massima alla larghezza, chiamati profilati **HE**.

Si classificano con una lettera dopo la sigla HE indicativa dello spessore delle ali:

- **HEA** per ali sottili
- **HEB** per ali normali (altezza e larghezza sono uguali)
- **HEM** per ali maggiorate

Le **travi**, pure realizzate o doppio T, prevedono sezioni dove l'altezza è doppia o tripla della larghezza e vengono denominati profilati a I. Si tratta di profili di tipo **IPE**.

Esistono inoltre profili a sezione scatolare: quadrato, rettangolare o circolare. L'uso di profili a T, a L e a C può dare origine a elementi strutturali a sezione composta, realizzati per raggiungere determinate prestazioni alle sollecitazioni o particolari forme architettoniche nelle strutture in acciaio a vista.



HE pilastrini (preferibilmente) e travi



Pilastrini (preferibilmente) e travi



IPE travi (preferibilmente) e pilastrini



Pilastrini (preferibilmente) e travi



U travi (preferibilmente) e pilastrini



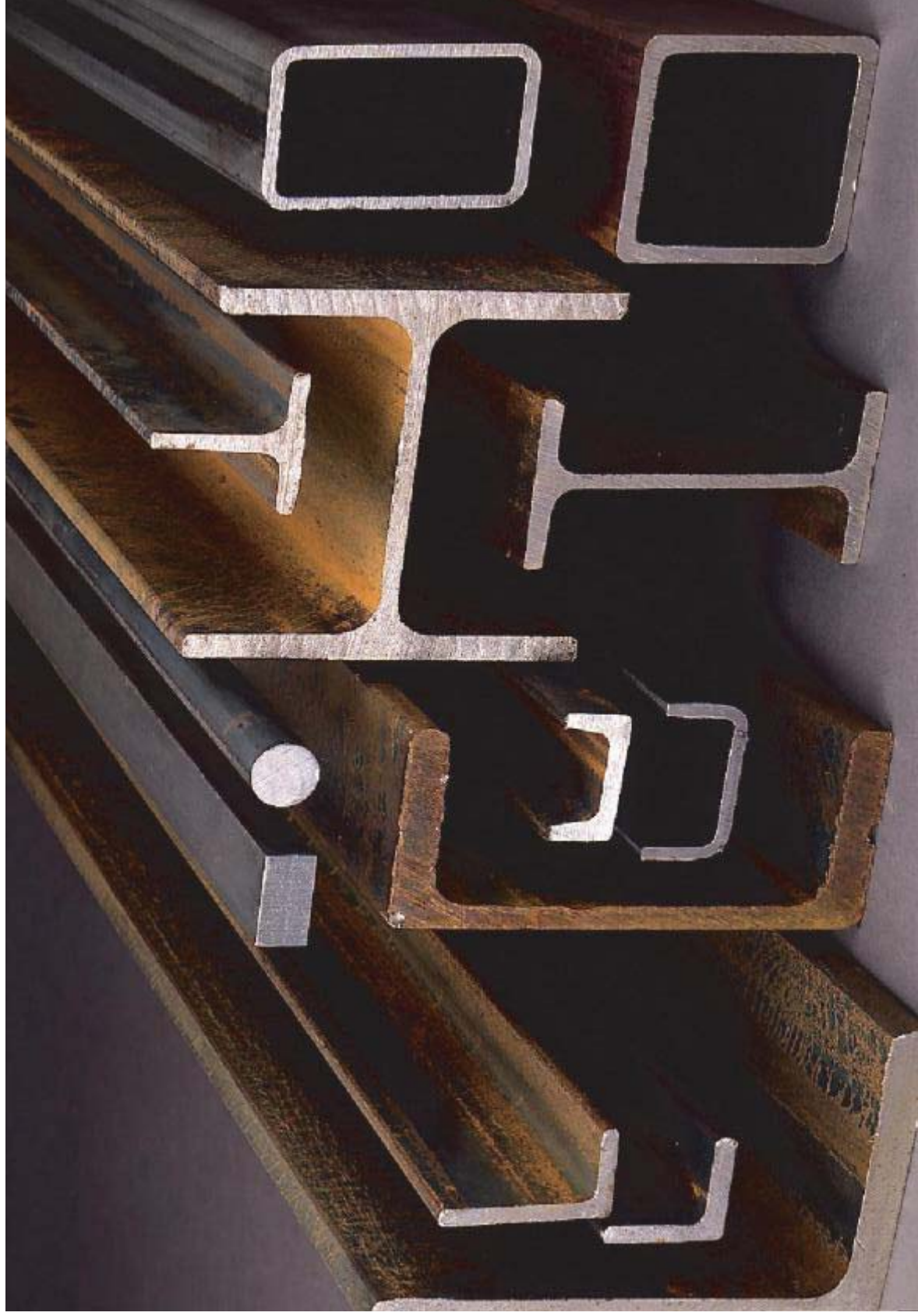
Pilastrini (preferibilmente) e travi



T elementi di completamento



T elementi di completamento

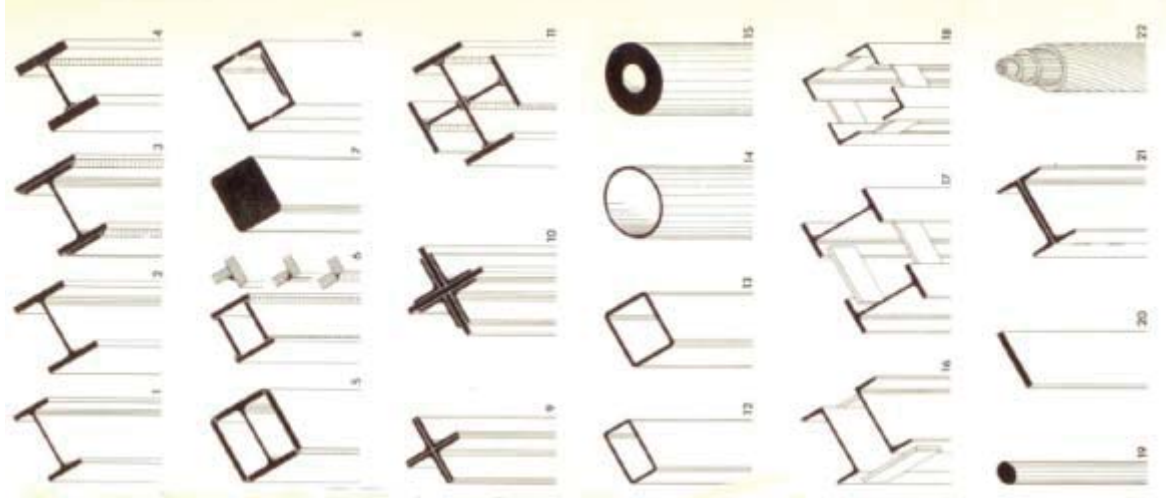




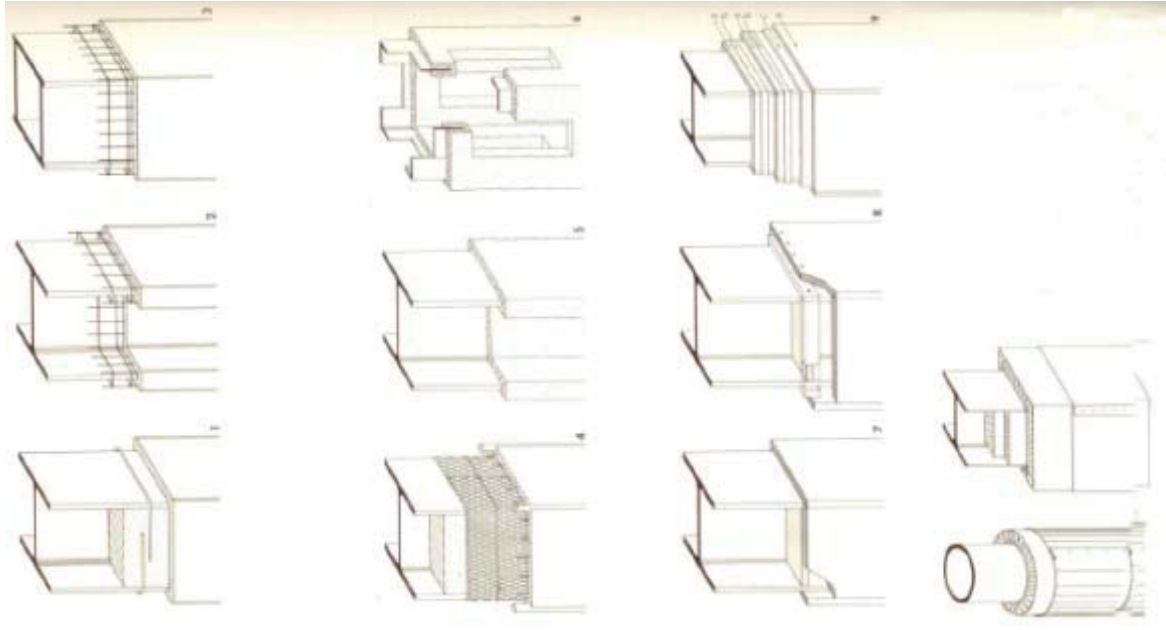
Profili laminati e assemblati per saldatura



Profili composti saldati



Profili per
colonne e per
tiranti



Protezione contro
il fuoco delle
colonne

Gli elementi strutturali verticali, orizzontali e trasversali vengono giuntati tra loro attraverso due tipologie di connessioni:

- 1. bullonatura**
- 2. saldatura**
- 3. chiodatura** (tecnica ormai non più utilizzata)

utilizzate per realizzare nodi rigidi o nodi articolati a semi-incastro e a semi-cerniera.

CONNESSIONI BULLONATE

La struttura bullonata ha sostituito la chiodatura assicurando maggiore controllabilità della qualità della giunzione eseguita e maggiore velocità nei tempi di montaggio in opera degli elementi preforati; inoltre la bullonatura consente la smontabilità degli organismi edilizi realizzati. Le connessioni avvengono attraverso l'uso di viti, rondelle e dadi di acciaio filettati e l' interposizione di elementi (piastre copri giunti, angolari, flange) che consentono la sovrapposizione fra gli elementi da unire oppure realizzano un accostamento di testa fra gli elementi attraverso piastre copri giunti.

Le fasi di cantiere prevedono generalmente un pre-assemblaggio a piè d'opera degli elementi singoli, il montaggio in opera attraverso un primo serraggio delle piastre di giunzione e la messa a piombo, il serraggio finale dei bulloni effettuato con chiavi dinamometriche (consentono di calibrare lo sforzo a cui sottoporre i bulloni).



posizionamento dei pilastri in acciaio pluripiano

Le Strutture Portanti: **STRUTTURE DI ELEVAZIONE A TELAIO in acciaio**

Ing. Marco Palazzuoli



dettaglio della stoffa per i controventamenti



controventamenti in una struttura di elevazione in acciaio



controventamenti in una struttura di elevazione in acciaio



dettaglio del nodo di irrigidimento



stoccaggio a piè d'opera di pilastri e travi in acciaio preforate



prime fasi del montaggio dei pilastri e travi di una scala di sicurezza



dettaglio della bullonatura fra travi e pilastri in acciaio



dettaglio della bullonatura fra travi e pilastri in acciaio

CONNESSIONI SALDATE

Le connessioni fra elementi mediante saldatura consente di realizzare strutture intelaiate rigidamente ed è eseguita fondendo le parti da unire ed aggiungendo ulteriore materiale fino a realizzare le cordonature visibili nelle strutture saldate; le giunzioni saldate possono essere realizzate sia di testa che per sovrapposizione e, generalmente, non richiedono piastre o angolari di irrigidimento.

A differenza delle strutture bullonate, la realizzazione di strutture saldate viene effettuata da personale specializzato per la delicatezza dell'operazione a cui è affidata tutta la prestazione statica della struttura.



Una struttura saldata comporta un peso considerevolmente inferiore (piastre e bulloni) traducendosi in risparmi economici anche rilevanti in rapporto all'intero costo di costruzione.

La realizzazione di strutture saldate richiede tempi di montaggio maggiori ed inoltre le condizioni atmosferiche influiscono notevolmente sulla qualità del lavoro; pertanto le strutture saldate vengono preferibilmente eseguite in officina, dove è possibile preparare i pezzi che saranno poi montati in opera mediante bullonatura.

CONTROVENTAMENTI E IRRIGIDIMENTI

La linearità degli elementi comporta, nella realizzazione di strutture a telaio, la necessità di un irrigidimento dei telai. I controventamenti sono realizzati attraverso l'uso di connessioni rigide fra gli elementi mediante inserimento di profili predisposti in diagonale fra i telai, oppure con la predisposizione di pareti a setti portanti. L'irrigidimento dei nodi avviene attraverso elementi aggiuntivi quali piastre e squadre di connessione fra travi e pilastri.

Gli irrigidimenti per profili diagonali vengono adottati quando siano necessari maggiori valori di resistenza e servono ad irrigidire sia le strutture verticali sia gli impalcati orizzontali.

I solai, infatti, costituiscono generalmente gli elementi di controventamento orizzontale, ma a volte si rendono necessari ulteriori irrigidimenti ottenuti attraverso travature o barre poste in diagonale, giuntate sui nodi principali.



Nodo pilastro e trave con elementi speciali di controventamento e tamponature esterne



Fasi di posa delle strutture controventanti orizzontali e della lamiera grecata per il getto del solaio di copertura



Gli irrigidimenti verticali sono inoltre comunemente realizzati da pareti portanti di cis armato, singole o pluriconnesse in nuclei.

Particolare attenzione deve essere posta per ottimizzare le caratteristiche di resistenza alle spinte orizzontali e ai momenti di inerzia: soluzioni simmetriche di pareti e nuclei chiusi di irrigidimento contribuiscono notevolmente a minimizzare le necessità di inserire elementi strutturali vincolanti per la distribuzione degli spazi.

I nuclei strutturali, sviluppandosi in verticale dalle fondazioni alle coperture, sono particolarmente indicati per la collocazione di elementi di distribuzione (scale e ascensori), per ospitare servizi tecnici e locali igienici e per alloggiare le dorsali verticali delle canalizzazioni impiantistiche. In tale caso occorre però prestare attenzione alle necessità di realizzare asolature nei setti per gli stacchi degli impianti sulle canalizzazioni orizzontali di piano, infatti l'interruzione della continuità strutturale provoca il vanificarsi delle caratteristiche controventanti dei setti inseriti.



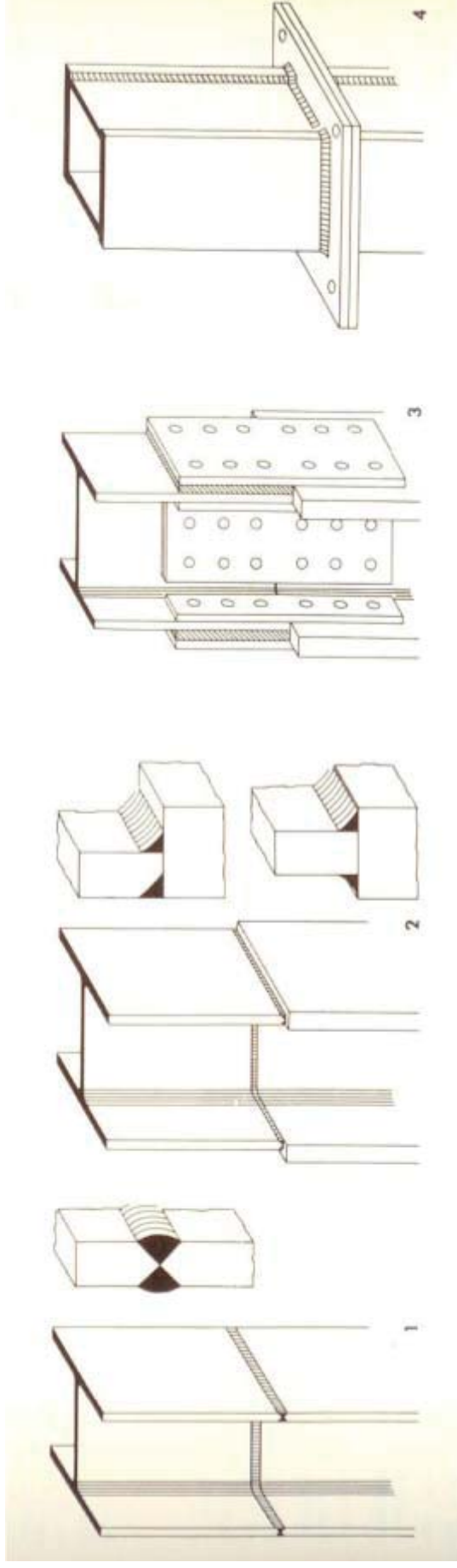


I pilastri vengono prodotti ad altezza di piano oppure per più piani, generalmente consentendo la realizzazione fino a tre elevazioni; dato il costo elevato del materiale i pilastri diminuiscono la dimensione del profilo salendo di piano, con la rastrematura dei profilati, oppure vengono utilizzati profili a differente portanza. Ad essi sono giuntate le travi secondo due tipologie di assemblaggio:

- **a travi passanti:** le travi, che possono avere luci di due campate vengono appoggiate e successivamente fissate ai pilastri sottostanti e i pilastri del livello superiore vengono sovrapposti e fissati alle travi
- **a pilastri passanti:** in edifici pluripiano sono particolarmente efficaci gli schemi che prevedono la configurazione di pilastri che si prolungano con monconi di travi oltre il nodo, realizzati con profili saldati in officina; a tali monconi vengono poi più agevolmente assemblate le travi, realizzando risparmi nei tempi di montaggio e maggiori valori di resistenza a flessione dei nodi strutturali.







Giunzioni saldate e bullonate per collegamenti colonna-colonna



Stoccaggio di travi ed elementi di controventamento preforati in acciaio prima del loro montaggio



Dettaglio bullonatura dei pilastri in acciaio prima del getto integrativo



Getto integrativo del pilastro prima e dopo la scasseratura del getto





Cordolo in cis su trave in acciaio per la posa delle tamponature in blocchi di laterizio



Cavedio tra lastre di solaio a predalles

Lo connessione fra travi principali e travi secondarie viene generalmente realizzata in spessore della trave principale per contenere l'altezza dell'ingombro dell'impalcato.

Le travi secondarie vengono poste in allineamento rispetto all'estradosso della trave principale per consentire il posizionamento delle strutture di orizzontamento, per questo occorre tagliare la parte finale dell'ala della trave secondaria e fissare con saldatura o bullonatura le due ali accostate.

L'allineamento della trave secondaria all'intradosso della trave principale, ottenuta mediante lo stesso procedimento, consente di appoggiare gli elementi di solaio sull'ala inferiore della trave secondaria e realizzare poi tutto il pacchetto dell'impalcato nello spessore della trave principale.

SOLAI

Il solaio è un elemento strutturale fondamentale, la cui principale funzione è quella di trasferire i carichi e i sovraccarichi verticali alla struttura portante. In zona sismica il solaio può assumere anche la funzione aggiuntiva di trasferire le forze inerziali di piano alla struttura principale, sotto l'ipotesi che esso sia sufficientemente rigido nel proprio piano.

Le indicazioni riportate nella normativa tecnica di riferimento, insieme alle regole di buona progettazione, richiedono che un solaio venga realizzato in modo da possedere i seguenti requisiti:

1. Resistenza meccanica necessaria per i carichi cui è sottoposto
2. Sufficiente resistenza al fuoco
3. Limitata deformabilità
4. Facilità di posa in opera
5. Possibilità di collegamento monolitico con la struttura
6. Buone capacità di isolamento termico
7. Buone capacità di isolamento acustico

SOLAI	Solai unidirezionali normali $h=1/25L$ ($>12\text{cm}$)
	Solai unidirezionali in precompresso $h=1/30L$
	Solai in pannelli in precompresso $h=1/35L$
SOLLECITAZIONI	Azioni permanenti
	Peso proprio
	Peso elementi costruttivi
	Cedimenti di vincoli
	Precompressione
	Azioni variabili lunga durata
	Neve e vento
	Arredamento e suppellettili
	Merce immagazzinata
	Vetture parcheggiate
Azioni variabili breve durata	
Effetti reologici	
Carico dovuto a persone	
Carico dovuto a transito di veicoli	
Variazioni di temperatura	
Azioni sismiche e/o dinamiche	

L'attuale produzione industriale di elementi e sistemi per gli impalcati piani offre una gamma estremamente diversificata di soluzioni tecniche. Operando una classificazione in relazione ai diversi procedimenti costruttivi -e tralasciando le soluzioni tecnologiche non più utilizzate per nuove costruzioni- avremo le seguenti principali classi di soluzioni tecniche:

- **impalcati in legno**, che utilizzano travi principali e secondarie in legno a sezione piena o lamellare, uniti a solai anch'essi in legno o in elementi piani di laterizio o ancora in calcestruzzo alleggerito;
- **impalcati in acciaio**, che impiegano travi in profilati o di tipo reticolare, con solai in acciaio a lamiera grecata oppure in elementi piani o voltati in laterizio (ormai non più utilizzati), oppure solai misti in acciaio e calcestruzzo alleggerito;
- **impalcati in laterocemento**, che impiegano travi principali e secondarie in calcestruzzo armato ed elementi di alleggerimento in laterizio, polistirene o legno mineralizzato; oppure solai realizzati con elementi di laterizio e strutture secondarie in calcestruzzo armato gettato in opera;
- **impalcati in calcestruzzo armato**, che impiegano strutture principali e secondarie in calcestruzzo armato, gettato in opera o prefabbricato, a formare sia strutture monodirezionali che pluridirezionali;
- **impalcati in lastre semiprefabbricate**, che impiegano elementi a piastra prodotti in stabilimento con funzioni di cossero o perdere per la realizzazione in opera delle strutture portanti orizzontali. Tali elementi sono costituiti da lastre sottili di calcestruzzo armato, pannelli di polistirene o di legno mineralizzato, in entrambi i casi configurati per ospitare filari di alleggerimento e travetti in calcestruzzo armato gettati in opera.

I materiali utili alla realizzazione di un solaio sono molteplici e molteplici sono le soluzioni costruttive possibili. I primi solai ad essere realizzati furono solai in legno. Una soluzione costruttivamente facile, ma che generalmente prevedeva spessori utili elevati, alta deformabilità meccanica, facilità di usura per effetto di agenti esterni, scarse caratteristiche di isolamento termico ed acustico, facilità di incendio. Altra nota dolente dei solai in legno era la scarsa possibilità di collegamento con la restante struttura portante che li rendeva poco adatti per costruzioni in zona sismica; se non bene curati, infatti, i collegamenti non sono in grado di trasmettere adeguatamente le forze inerziali di piano con conseguente mal funzionamento dell'intero organismo strutturale.





Impalcati in legno

Gli impalcati piani a struttura lignea hanno rappresentato la soluzione costruttiva maggiormente impiegata nella realizzazione dell'edilizia comune anche se sono stati soppiantati dall'introduzione dei solai in acciaio e laterizio e, successivamente, dalle soluzioni in latero-cemento.

Esistono oggi nuovo interesse per una serie di fattori positivi:

- in primo luogo la disponibilità di materiali compositi (legno lamellare, compensati e multistrati) che enfatizzano le già ottime caratteristiche strutturali del legno;
- in secondo luogo per l'accresciuta necessità di operare in ambito di riqualificazione e recupero del patrimonio immobiliare storico;
- per ultimo per una nuova consapevolezza delle qualità di sostenibilità ambientale del materiale e per le conseguenti applicazioni in sistemi costruttivi a struttura portante in legno.

Le caratteristiche strutturali del legno sono impiegate per realizzare elementi costruttivi leggeri, dotati di buone caratteristiche di isolamento termico.

I limiti maggiori sono insiti nella scarsa resistenza al fuoco del materiale e nello scarso potere fonoisolante.

In conseguenza la realizzazione di solai in legno necessita di protezioni, quali verniciature impregnanti, o controsoffittatura degli impalcati

I solai in legno sono costituiti da travi principali e secondarie in legno e orizzontamenti realizzati con differenti soluzioni tecniche. Abbiamo le seguenti principali tipologie:

- 1. solai con orditura semplice perpendicolare alle strutture murarie portanti;**
- 2. solai con orditura doppia o multipla.**

Nei solai con orditura semplice le strutture principali sono costituite da travi coprono generalmente una luce non superiore a 5 m, sono posti parallelamente a distanza non superiore o 60-80 cm e sono completati da un assito di tavole o pannelli di legno, semplicemente accostati o incastrati. Nel passato l'impalcato poteva essere realizzato anche con piastrelle di laterizio che necessitavano però di un interesse minore fra i travi.

I solai con orditura doppia o multipla impiegano due o più ordini di travi, poste ortogonalmente le une sulle altre, per coprire lunghezze via via più ampie (con le travi di produzione corrente si risolvono luci fino a 8-9 m con doppia orditura e fino a 18-20 m per orditure multiple).

In questo caso le **travi principali coprono la luce minore del vano**, suddividendo il solaio in più parti che vengono risolte con una o più disposizioni secondarie **di travi e travicelli**.

Gli elementi secondari vengono sovrapposti a quelli principali, oppure possono venire collegati nello spessore della trave al fine di impiegare una minore altezza dell'impalcato. In questo caso non si realizzano più incastrati diretti fra gli elementi, ma possono essere utilizzate mensole e staffe in acciaio che garantiscono minori costi di realizzazione e maggiori livelli di sicurezza statica.

I solai in legno sono costituiti da travi principali e secondarie in legno e orizzontamenti realizzati con differenti soluzioni tecniche. Abbiamo le seguenti principali tipologie:

- 1. solai con orditura semplice perpendicolare alle strutture murarie portanti;**
- 2. solai con orditura doppia o multipla.**

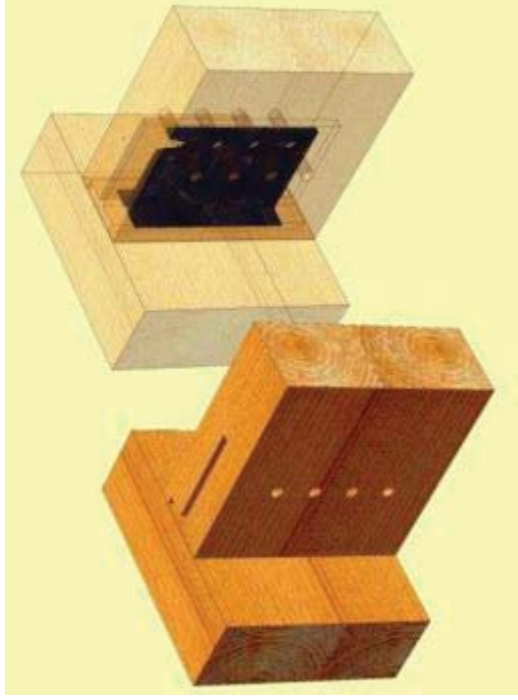
Nei solai con orditura semplice le strutture principali sono costituite da travi coprono generalmente una luce non superiore a 5 m, sono posti parallelamente a distanza non superiore o 60-80 cm e sono completati da un assito di tavole o pannelli di legno, semplicemente accostati o incastrati. Nel passato l'impalcato poteva essere realizzato anche con pianelle di laterizio che necessitavano però di un interesse minore fra i travi.

I solai con orditura doppia o multipla impiegano due o più ordini di travi, poste ortogonalmente le une sulle altre, per coprire lunghezze via via più ampie (con le travi di produzione corrente si risolvono luci fino a 8-9 m con doppia orditura e fino a 18-20 m per orditure multiple).

In questo caso le **travi principali coprono la luce minore del vano**, suddividendo il solaio in più parti che vengono risolte con una o più disposizioni secondarie **di travi e travicelli**.

Gli elementi secondari vengono sovrapposti a quelli principali, oppure possono venire collegati nello spessore della trave al fine di impiegare una minore altezza dell'impalcato. In questo caso non si realizzano più incastrati diretti fra gli elementi, ma possono essere utilizzate mensole e staffe in acciaio che garantiscono minori costi di realizzazione e maggiori livelli di sicurezza statica.











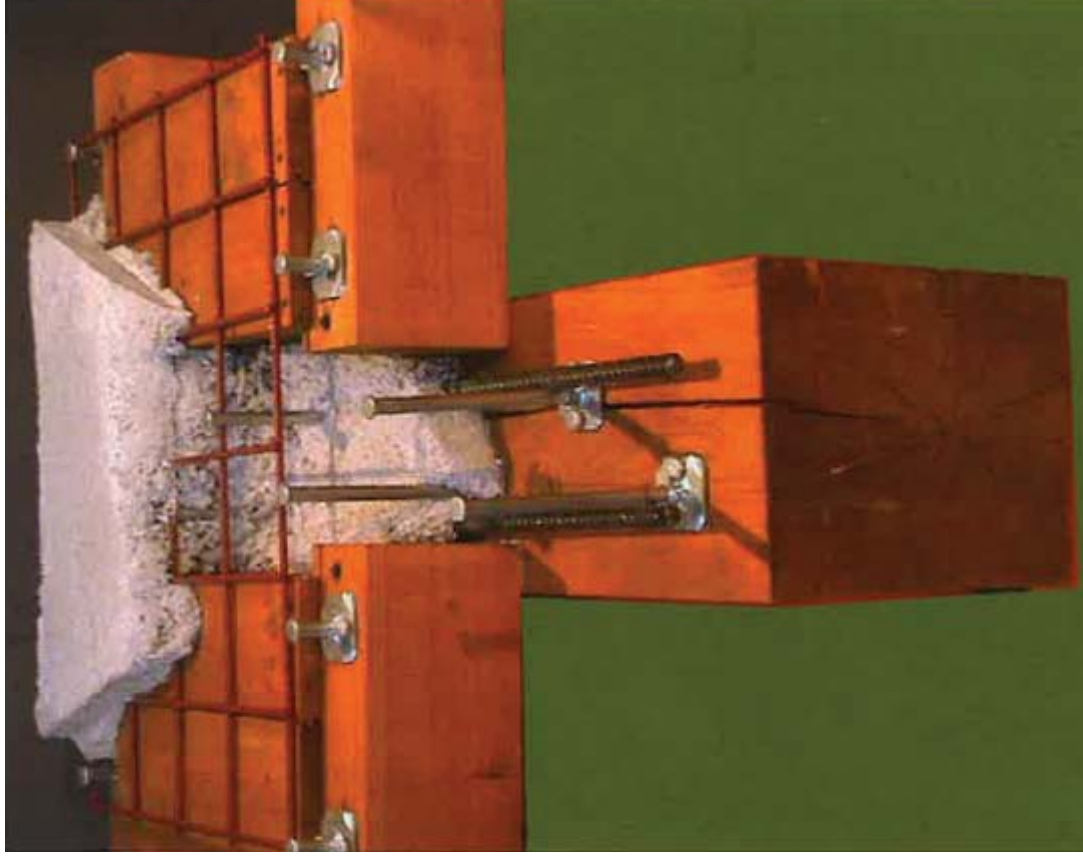






Le soluzioni tecniche moderne per la realizzazione di solai in legno sono dotate di maggiore efficienza strutturale e migliori caratteristiche fisico-tecniche:

1. in primo luogo possono venire impiegati travi e travetti in legno lamellare, più snelli e dotati di maggiori coefficienti di sicurezza statico;
2. l'impalcato viene realizzato con tavolai (anche incrociati) che offrono maggiori dimensioni in altezza e possibilità di interasse maggiore fra i travetti, in più partecipano al controventamento orizzontale;
3. all'impalcato in legno viene sovrapposto una soletta di completamento del solaio in calcestruzzo (alleggerito o meno), armato con rete elettrosaldata, a volte solidarizzato con pioli allo strato sottostante, per garantire maggiore portanza complessiva e funzioni di controventamento della struttura piana, maggiore isolamento acustico e protezione al fuoco;
4. possono venire realizzate forme di collaborazione fra legno e calcestruzzo attraverso la creazione di travetti di calcestruzzo armato fra le orditure portanti;
5. l'intradosso del solaio può essere controsoffittato con pannelli di legno, o più utilmente di cartongesso, creando una intercapedine opportunamente coibentata con lana minerale o polistirene, ciò al fine di aumentare le caratteristiche di resistenza al fuoco e di isolamento termo-acustico e per consentire gli alloggiamenti impiantistici.



Impalcati in acciaio

Gli impalcati piani a struttura metallica hanno visto, a partire dalla metà dell'800, una ampia utilizzazione per la disponibilità di profilati estrusi a doppio T a costi più contenuti. In relazione alle luci da coprire questi venivano accoppiati a orizzontamenti, a volte in conci o in elementi piani di laterizio o, più recentemente a, volterrane, pignatte, lavellani e tavelle ancora in laterizio.

A volte i blocchi di laterizio venivano appoggiati ad elementi copriferro dello stesso materiale, aventi funzione di protezione e di supporto per lo strato di intonaco dell'intradosso. L'impalcato piano veniva poi completato con un massetto di calcestruzzo a completare e solidarizzare l'intero elemento costruttivo.

Tali soluzioni sono oggi non più adottate potendo disporre di orizzontamenti più efficaci in abbinamento con le strutture portanti in muratura o in calcestruzzo armato a telaio. I solai in acciaio vengono oggi impiegati come partizioni orizzontali delle strutture a telaio metallico, con soluzioni costruttive in grado di realizzare grandi luci con spessori limitati e con pesi ugualmente ridotti, vengono pertanto utilizzati generalmente nella realizzazione di edifici per il terziario, in edifici alti o quando debbano essere coperte luci di grande ampiezza.

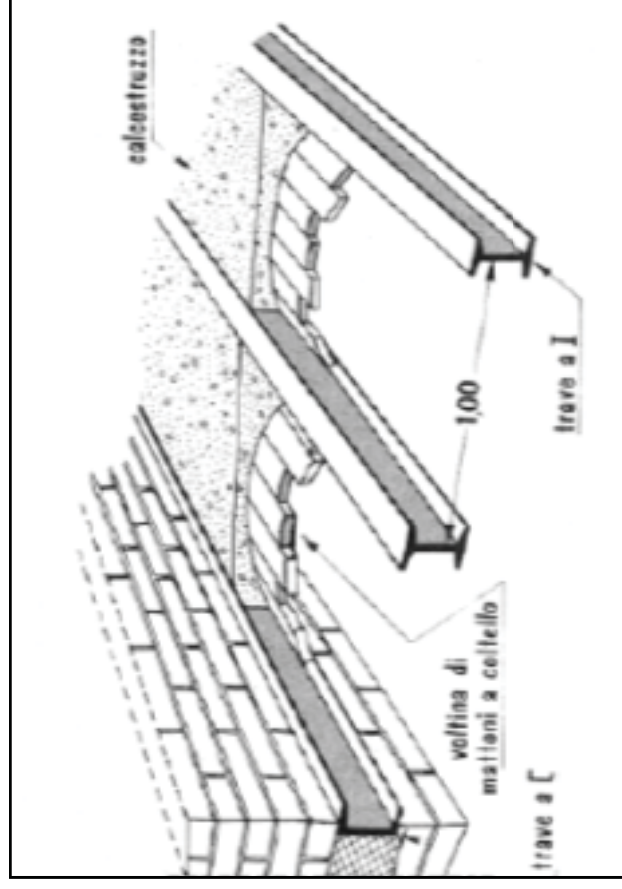
I solai in acciaio sono realizzati con travi profilate a doppio T, poste con orditura semplice o doppio, alle quali vengono sovrapposte lastre nervate di acciaio, posizionate con orditura ortogonale allo direzione delle travi di appoggio. Le lastre vengono comunemente chiamate lamiere grecate per la loro conformazione in sezione: la forma stessa - a "greca" - conferisce resistenza lungo lo direzione delle linee di spigolo alla lastra sottile che altrimenti non potrebbe garantire la portanza ai carichi verticali.

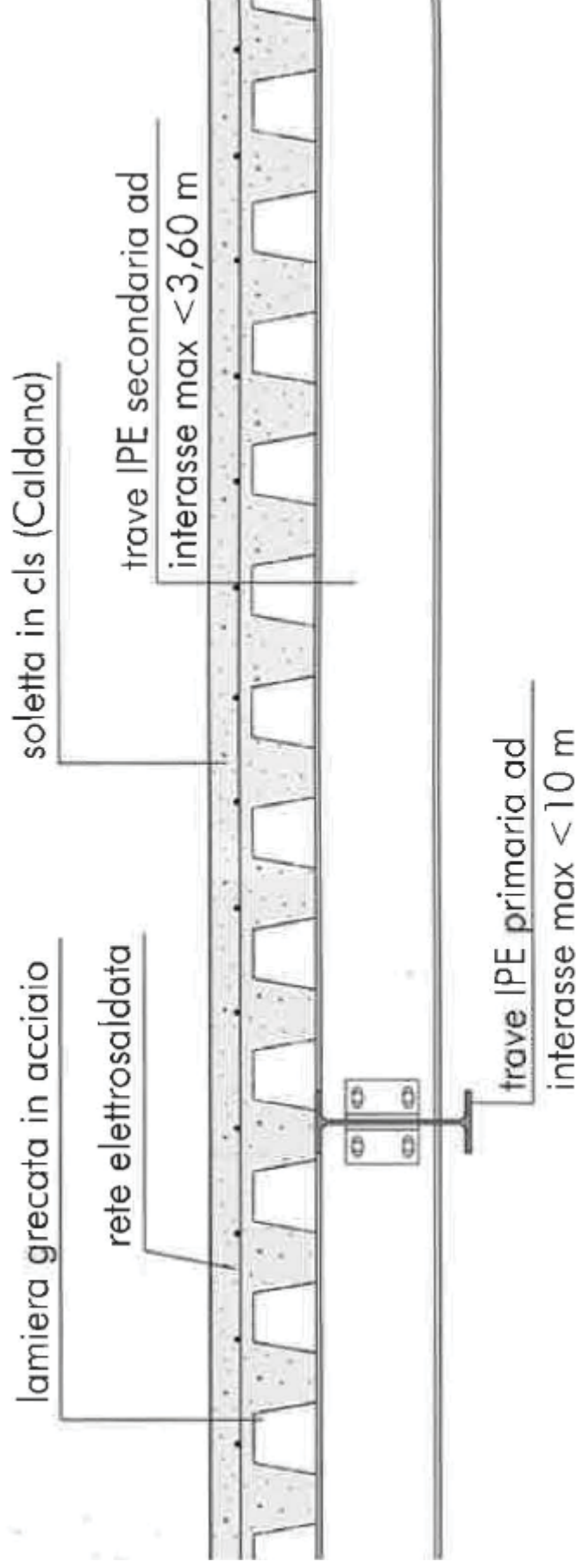
Le lamiere vengono collegate alle travi per saldatura o per chiodatura e l'impalcato viene completato generalmente da una soletta in calcestruzzo, armata con rete elettrosaldata e, a volte, con pioli per il contrasto agli sforzi orizzontali. La soletta può avere o non avere funzioni collaboranti con la lamiera grecata; ave questo debba realizzarsi la lamiera è corrugata anche nella superficie per permettere una migliore interazione fra i materiali, mentre invece dove non si realizza la collaborazione strutturale la lamiera funge semplicemente da cassero a perdere per il getto del calcestruzzo. Quando poi debbono essere raggiunte partenze significative due lamiere grecate possono essere accoppiate con lo stesso orditura sovrapponendo una lastra capovolta sull'altra a formare un unico elemento alveolare.

Le lastre nervate, in acciaio zincato, hanno spessori e altezze variabili in relazione alle luci e ai carichi di esercizio, con spessori di norma compresi fra i 7 e i 12 decimi di millimetro e altezza delle nervature di 55 o 75 mm.

Come per i solai in legno la soletta in calcestruzzo fornisce all'elemento costruttivo caratteri di resistenza al fuoco e di isolamento acustico, con spessori compresi fra 12 e 25 cm. Le lamiere grecate possono essere appoggiate superiormente all'estradosso delle travi oppure, per limitare lo spessore complessivo dell'impalcato strutturale, possono essere alloggiate all'interno della loro altezza: appoggiate direttamente all'ala inferiore o fissate- tramite un profilato a L saldato all'anima della trave- ad un'altezza tale da consentire di realizzare con il solaio finito un estradosso piano sopra l'altezza della trave.

La tipologia dei solai in acciaio che seguì quella in legno, oltre a mantenere la facilità di esecuzione aveva la possibilità di superare luci assai maggiori e con minore deformabilità; miglioravano inoltre le caratteristiche termiche ed acustiche. Come quelli in legno, i solai in acciaio erano vulnerabili al fuoco e spesso nascevano problemi di finitura come ad esempio la difficoltà di intonacare uniformemente l'intradosso per la presenza di materiali diversi (acciaio e laterizio). Grazie alle nuove tecnologie, le prestazioni odierne dei solai in acciaio sono estremamente migliorate ed essi sono oggi spesso utilizzati in edifici con struttura in acciaio o in opere di ristrutturazione di vecchi edifici in muratura.





Solaio misto in cemento armato su lamiera grecata e travi in acciaio

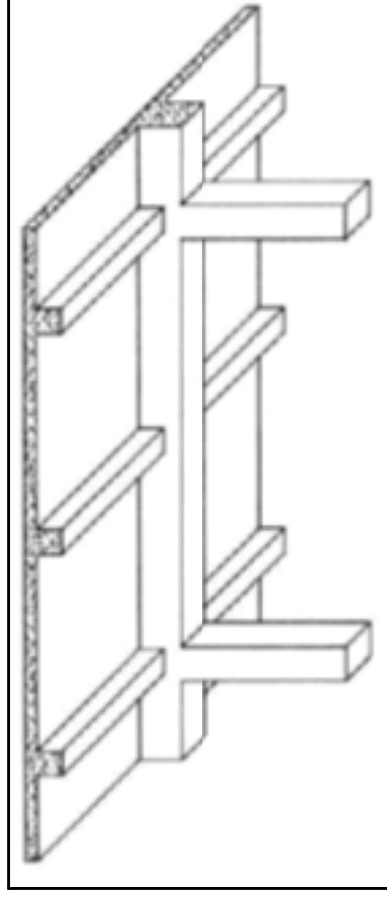






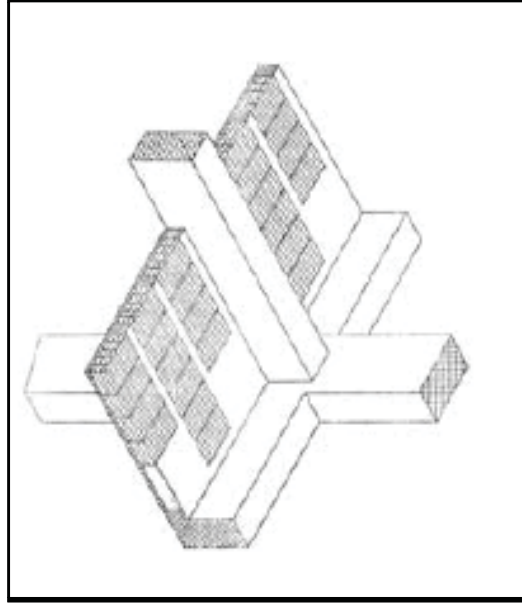


Con l'avvento del cemento armato si ebbe la possibilità di realizzare solai in grado di rispettare le principali esigenze richieste a questo tipo di struttura. Si trattava di studiare la soluzione tecnologica più adatta alle esigenze. I solai a soletta piena furono i primi ad essere proposti ma avevano l'inconveniente principale di essere notevolmente pesanti. Venne così l'idea di alleggerire la struttura realizzando graticci di travi di cemento armato collegate da una sottile soletta sovrastante sempre in cemento armato, la cosiddetta **soletta nervata**.



Questo tipo di struttura ricalca fedelmente l'orditura classica dei solai in legno con un'orditura principale, una secondaria ed un elemento piano di collegamento. Il primo e forse unico grande vantaggio della soletta nervata è senza dubbio la **monoliticità**. Per contro gli svantaggi sono molti: gli elevati oneri per la sua realizzazione (carpenteria e mano d'opera), la superficie dell'intradosso non piana e le scarse proprietà di isolamento acustico hanno fatto sì che si ricercassero soluzioni alternative più economiche e di più rapida esecuzione.

Gran parte di questi problemi vennero risolti inserendo tra i travetti, un altro materiale molto più leggero come laterizio forato o polistirolo: elementi con forme varie ma in ogni caso isolanti e tali da permettere di avere un intradosso piano e facilmente rifinibile. Sono nati così i primi **solai latero-cementizi gettati in opera**.



In seguito, grazie all'evoluzione tecnologica vennero sviluppate soluzioni in grado di ottenere un elevato livello di prefabbricazione, in modo da realizzare solai in poco tempo e con consistente risparmio di mano d'opera. Furono e continuano ad essere realizzati solai con travetti prefabbricati in cemento armato precompresso o addirittura costituiti da lastre pronte alla pavimentazione e alla tinteggiatura dell'intradosso.

La normativa attuale e più precisamente **NTC08**, prevede sostanzialmente tre tipi:

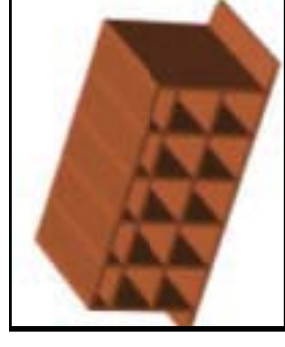
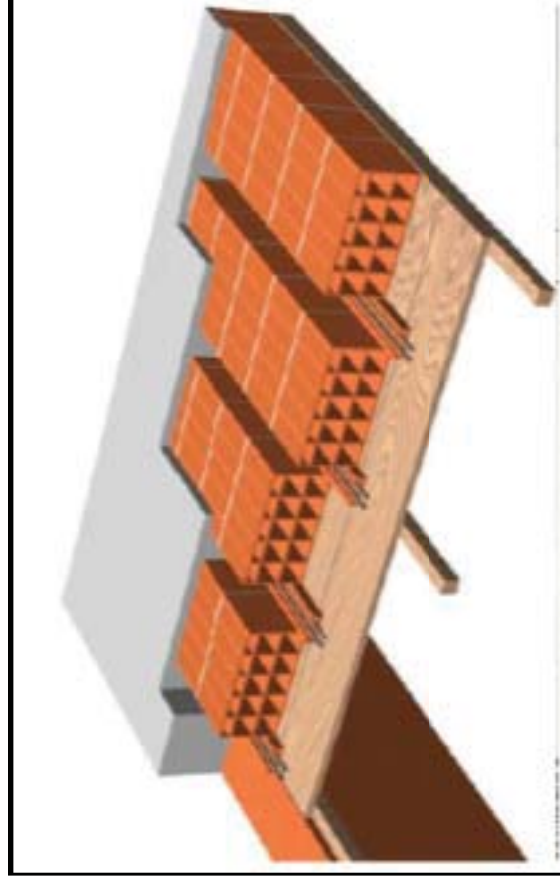
1. **Solai in getto pieno**
2. **Solaio misti in c.a. e c.a.p. con elementi di alleggerimento**
3. **Solai con elementi prefabbricati in c.a. e c.a.p.**

Alla prima categoria appartengono le solette piene e solette nervate. Mentre le prime attualmente vengono impiegate per realizzare piccole porzioni di solaio quali balconcini, pianerottoli etc..., il ricorso alle seconde può essere giustificato in genere, solo da particolari esigenze architettoniche. Tra i solai nervati, mirabili e famosi sono quelli realizzati da Pier Luigi Nervi all'interno del Palazzo dello Sport di Roma (1960).

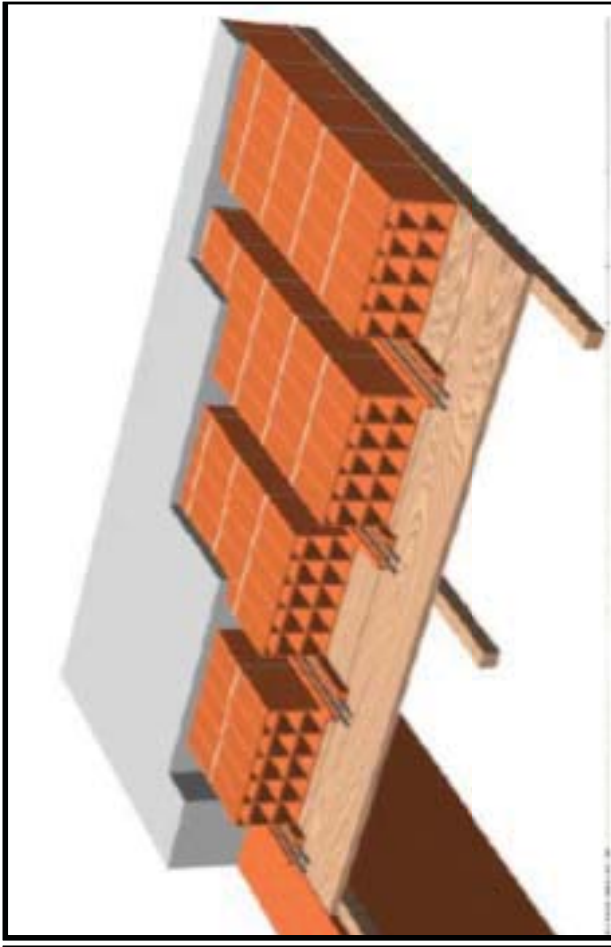


I **solai latero-cementizi gettati in opera** hanno rappresentato in passato l'unico tipo di solaio misto in laterizio e cemento armato, mentre attualmente, data l'onerosità della loro messa in opera, vengono utilizzati solo quando la pianta del fabbricato presenta irregolarità tali da impedire l'impiego di elementi prefabbricati.

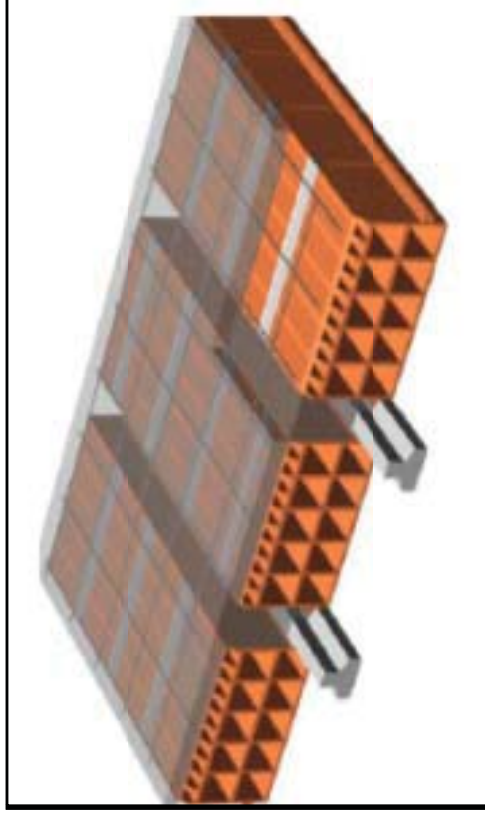
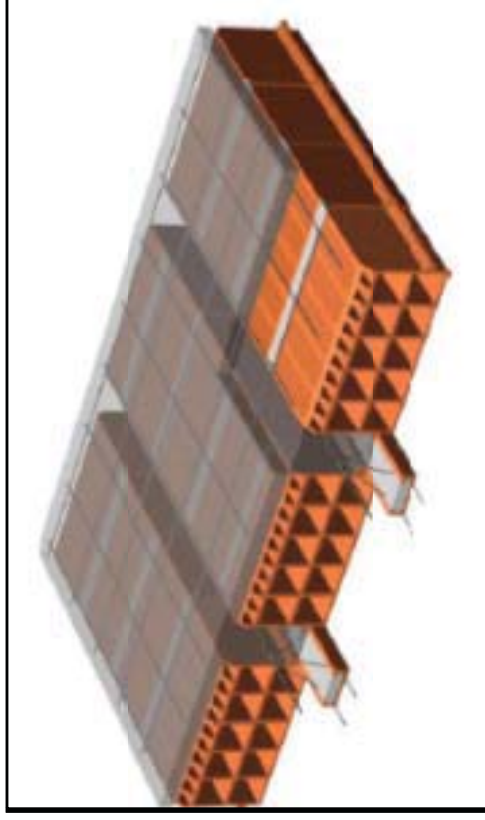
I blocchi di laterizio, muniti di alette laterali o accompagnati da fondelli in laterizio, vengono posizionati su un impalcato di sostegno provvisorio che viene smontato non appena il conglomerato ha raggiunto una resistenza meccanica sufficiente (comunque non prima di 28 giorni). Dopo aver sistemato tutti i blocchi e prima di procedere con il getto dei travetti e della soletta in calcestruzzo, si posizionano i ferri di armatura ricorrendo all'uso di distanziatori o di sistemi equivalenti in modo da assicurare che nella fase di getto i ferri mantengano una corretta disposizione.



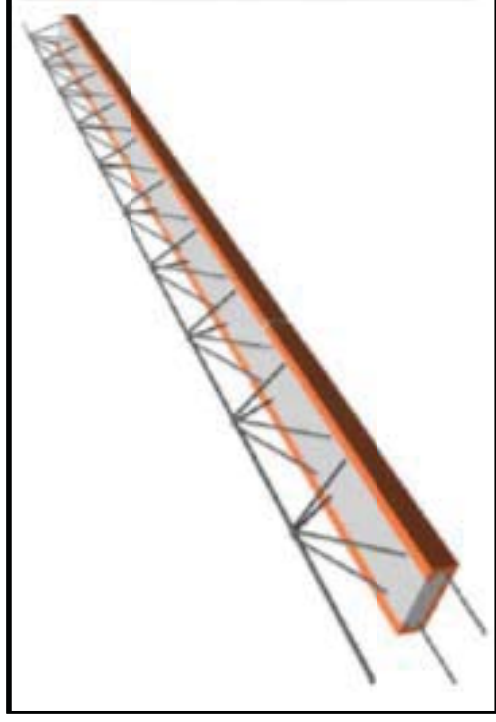
Rispetto ad una soletta nervata, il solaio misto presenta il vantaggio di essere composto da elementi di alleggerimento che hanno anche la funzione di isolatori acustici, di casseforme per il getto di completamento e di uniformare tutta la superficie d'intradosso con una notevole riduzione dei tempi di realizzazione e la necessità di mano d'opera non specializzata.



L'onere maggiore nella realizzazione di un solaio totalmente gettato in opera è la carpenteria, cioè la costruzione di un impalcato ligneo provvisorio. Per ovviare a questo inconveniente sono nati i **solai con travetti prefabbricati in cemento armato o cemento armato precompresso**. Questi travetti, a seconda delle loro caratteristiche, hanno capacità portanti più o meno elevate e sono in grado quindi di sostenere da soli il peso dei laterizi e del getto di completamento in calcestruzzo, aiutati solo da elementi rompitratta situati ad intervalli regolari. Inoltre, rispetto al solaio gettato in opera, conservano comunque una discreta flessibilità di adattamento anche a fabbricati di pianta complessa.



I **travetti a traliccio** sono quelli più in uso e sono composti da una piccola struttura reticolare con discrete capacità autoportanti. A seconda dell'utilizzazione vengono realizzati tralicci di diverse altezze e armature. Oltre a un'armatura di base, già inserita nell'elemento, possono essere annegati nella soola ulteriori ferri la cui sezione complessiva dipenderà dalle condizioni statiche del solaio finale. L'armatura destinata ad assorbire i momenti flettenti negativi, invece, deve essere posizionata poco prima del getto finale. Con i travetti a traliccio gli elementi rompitratta devono essere posti a una distanza compresa tra 1 e 1.5 m.

















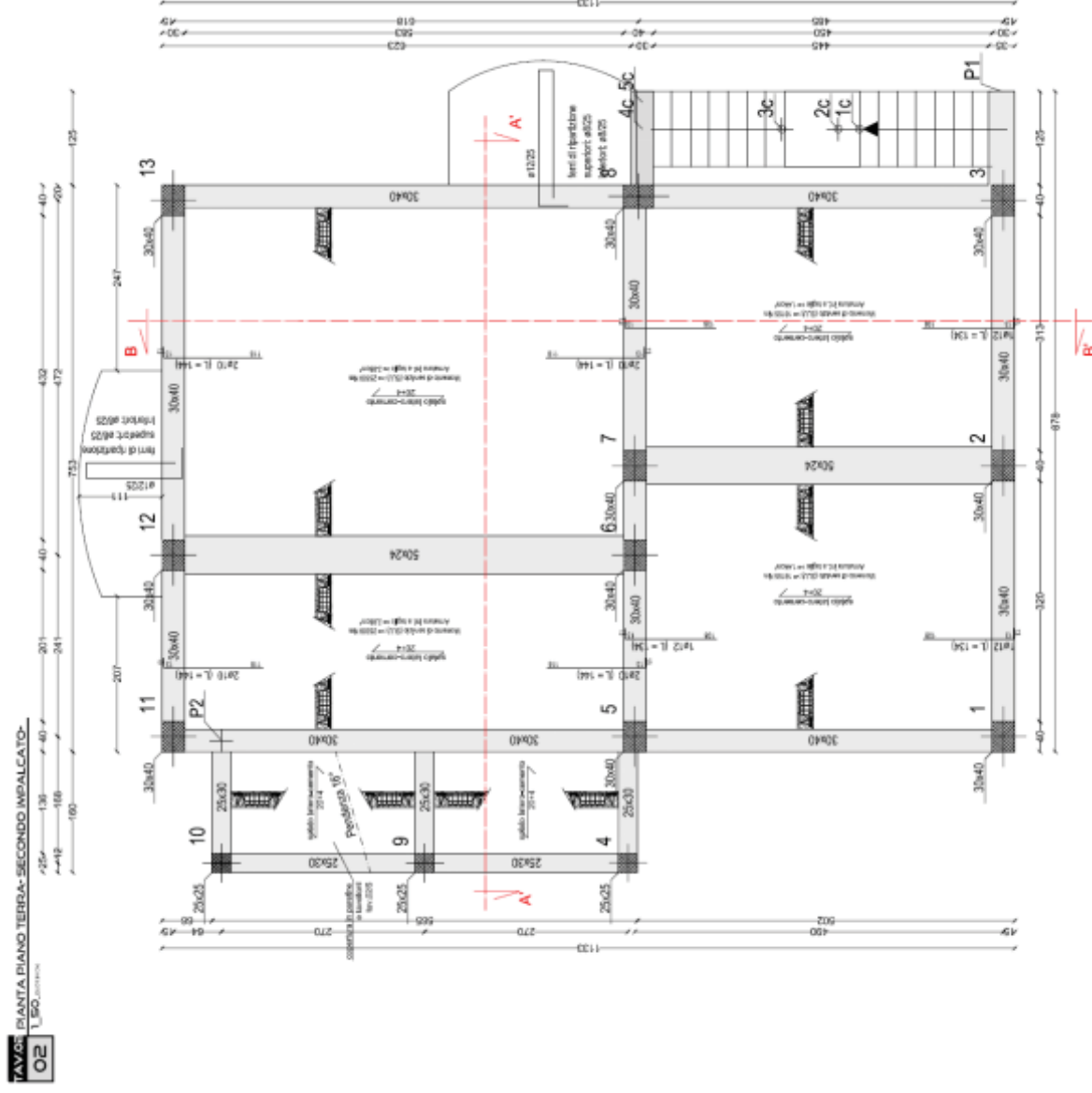


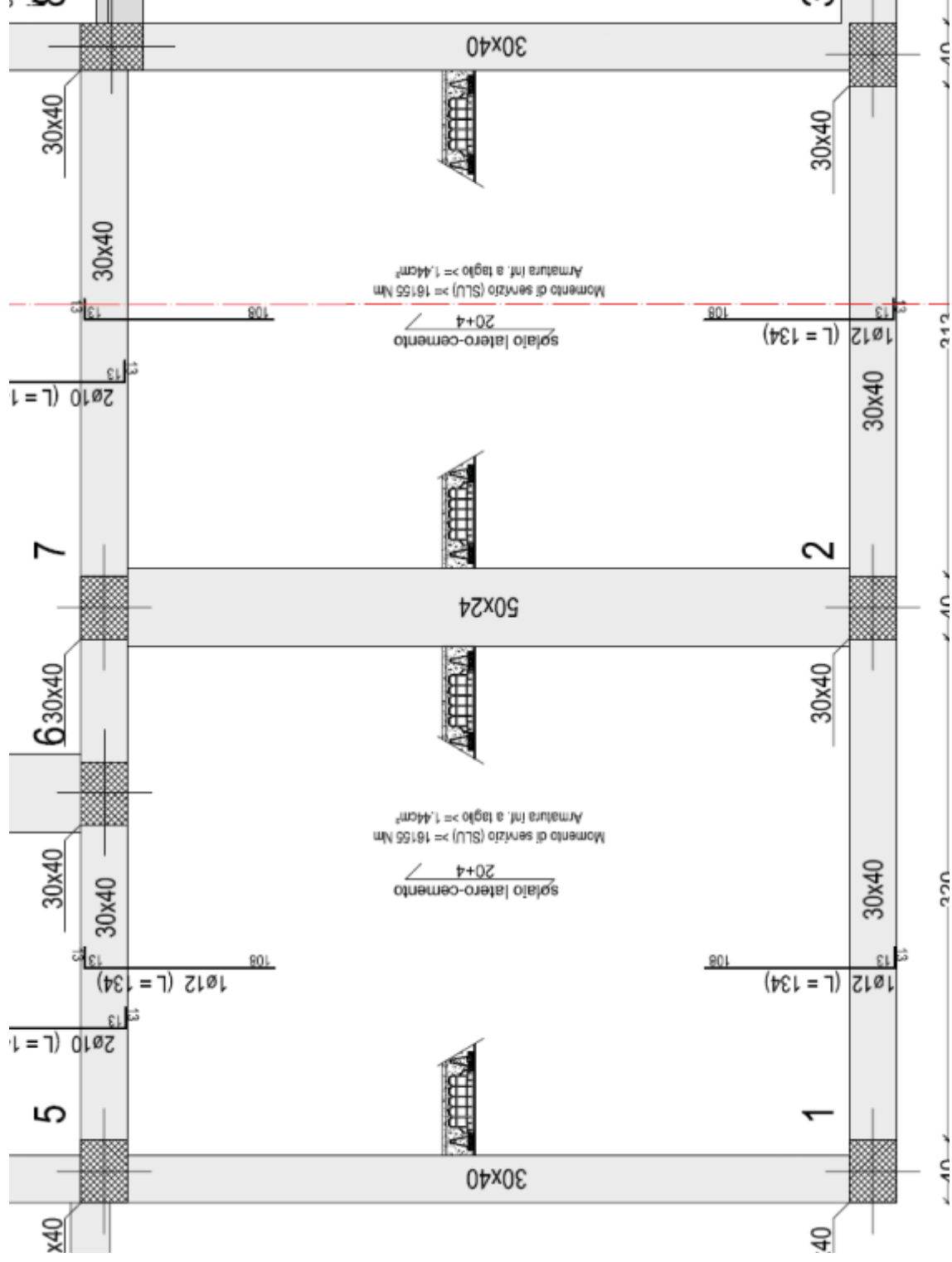






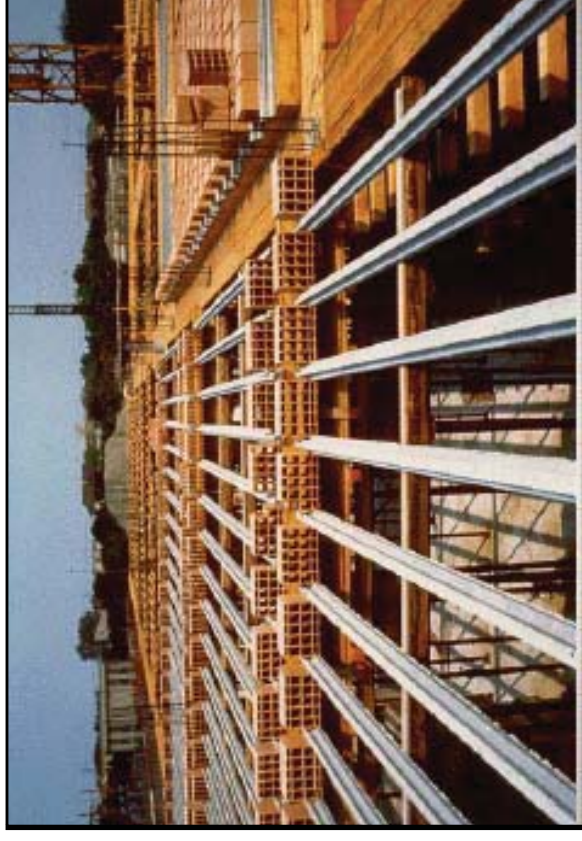
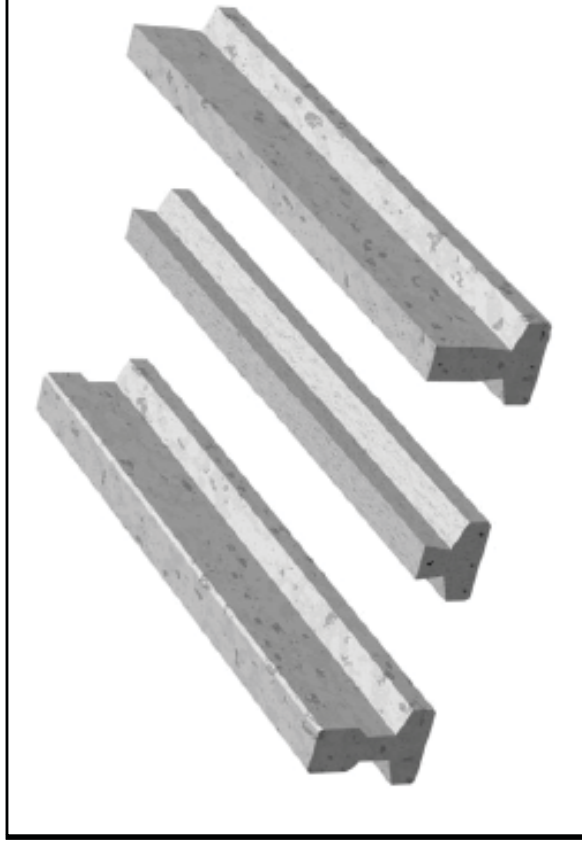




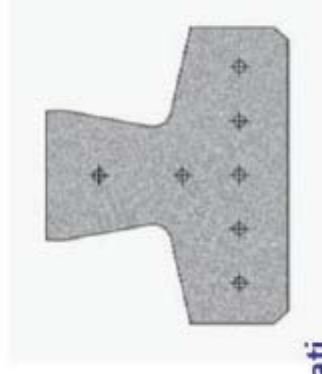


I **travetti in c.a.p.** sono una valida alternativa ai travetti a traliccio soprattutto in presenza di luci o carichi elevati o quando è difficile la realizzazione di un puntellamento adeguato poiché posseggono capacità autoportanti superiori e necessitano di travetti rompitirata posti a distanze comprese tra 1.5 e 2 m.

Le dimensioni e l'armatura di precompressione, realizzata con acciai ad alta resistenza, variano a seconda del campo di utilizzazione, mentre l'armatura destinata ad assorbire i momenti flettenti negativi, anche in questo caso, deve essere posizionata in opera prima del getto di completamento finale.



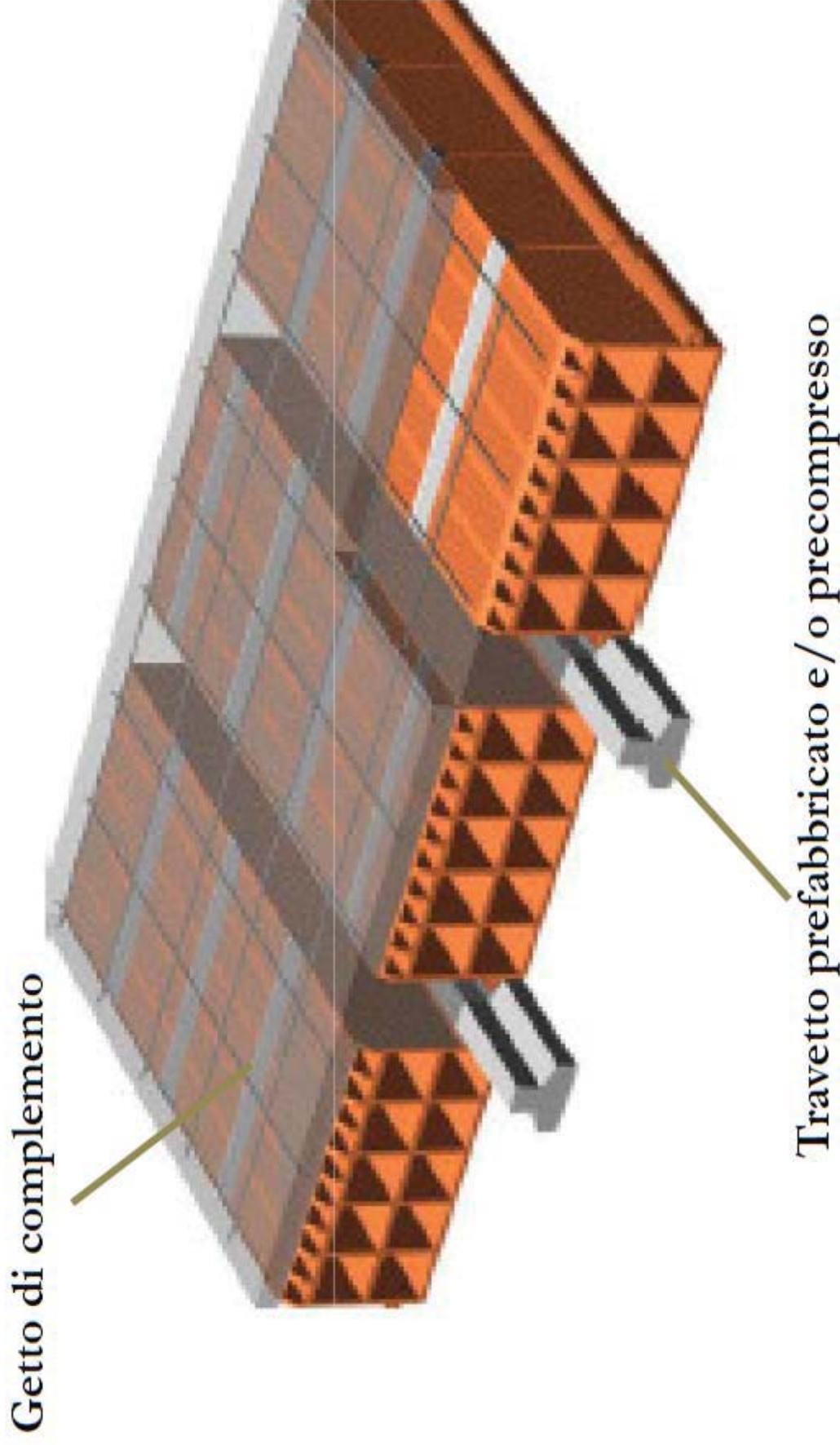
SOLAI MISTIA TRAVETTI IN C.A.P.



Elementi prefabbricati

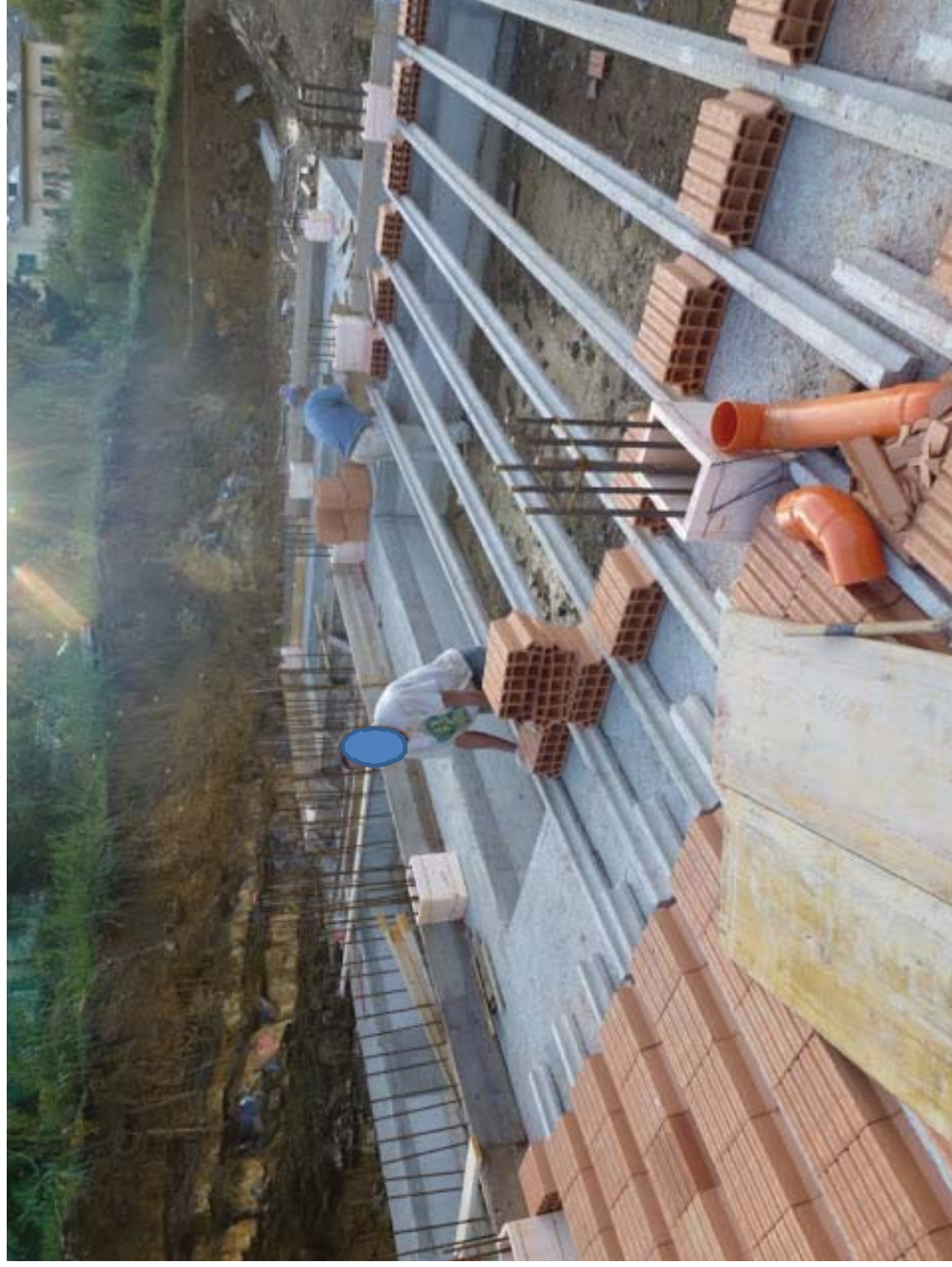


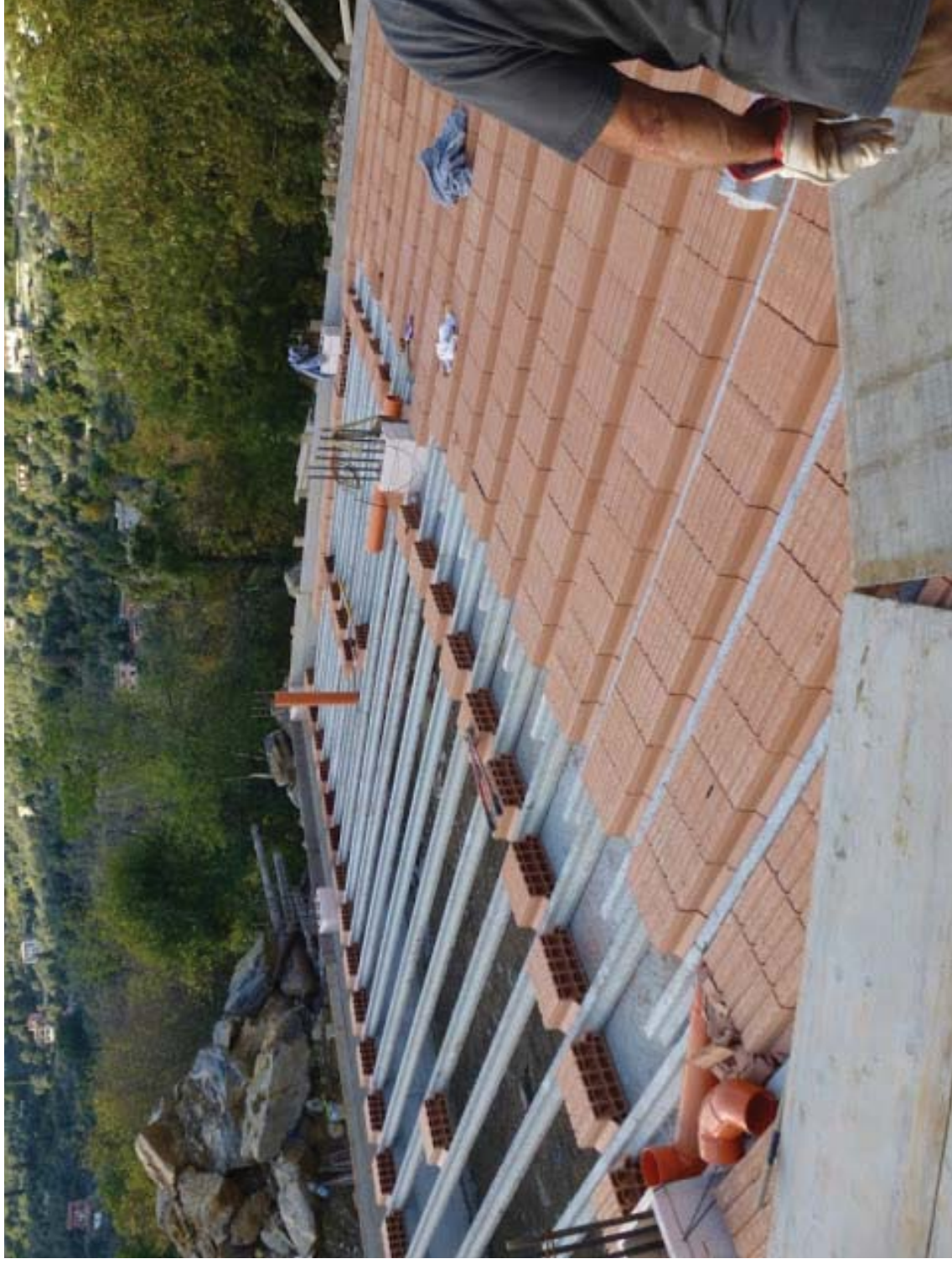
Componenti in opera















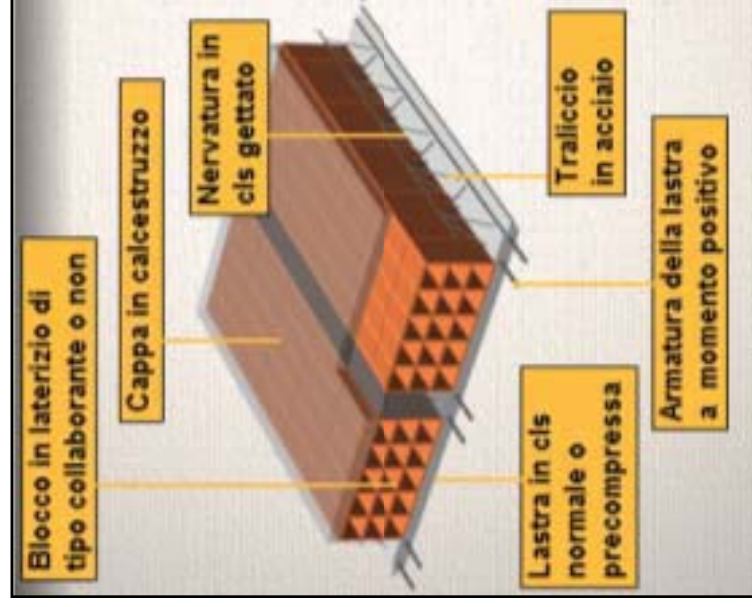






Altra soluzione tra i solai misti è quella a **lastre prefabbricate a predalles** con travetti a traliccio o prefabbricati direttamente incorporati ed elementi di alleggerimento in polistirolo o in laterizio. Le lastre in genere hanno uno spessore minimo di 4 cm, che può essere aumentato a piacere rendendo questa soluzione particolarmente adatta quando sussistono problemi di resistenza al fuoco. La loro capacità portante è analoga a quella dei travetti a traliccio o dei travetti prefabbricati usati singolarmente, e quindi necessitano della stessa opera di puntellamento.

Una volta che le lastre sono state poste in opera, si posizionano le eventuali armature aggiuntive previste in fase di progetto e si completa la struttura con la fase di getto del calcestruzzo. L'intradosso di questi solai in genere è pensato per non essere intonacato.







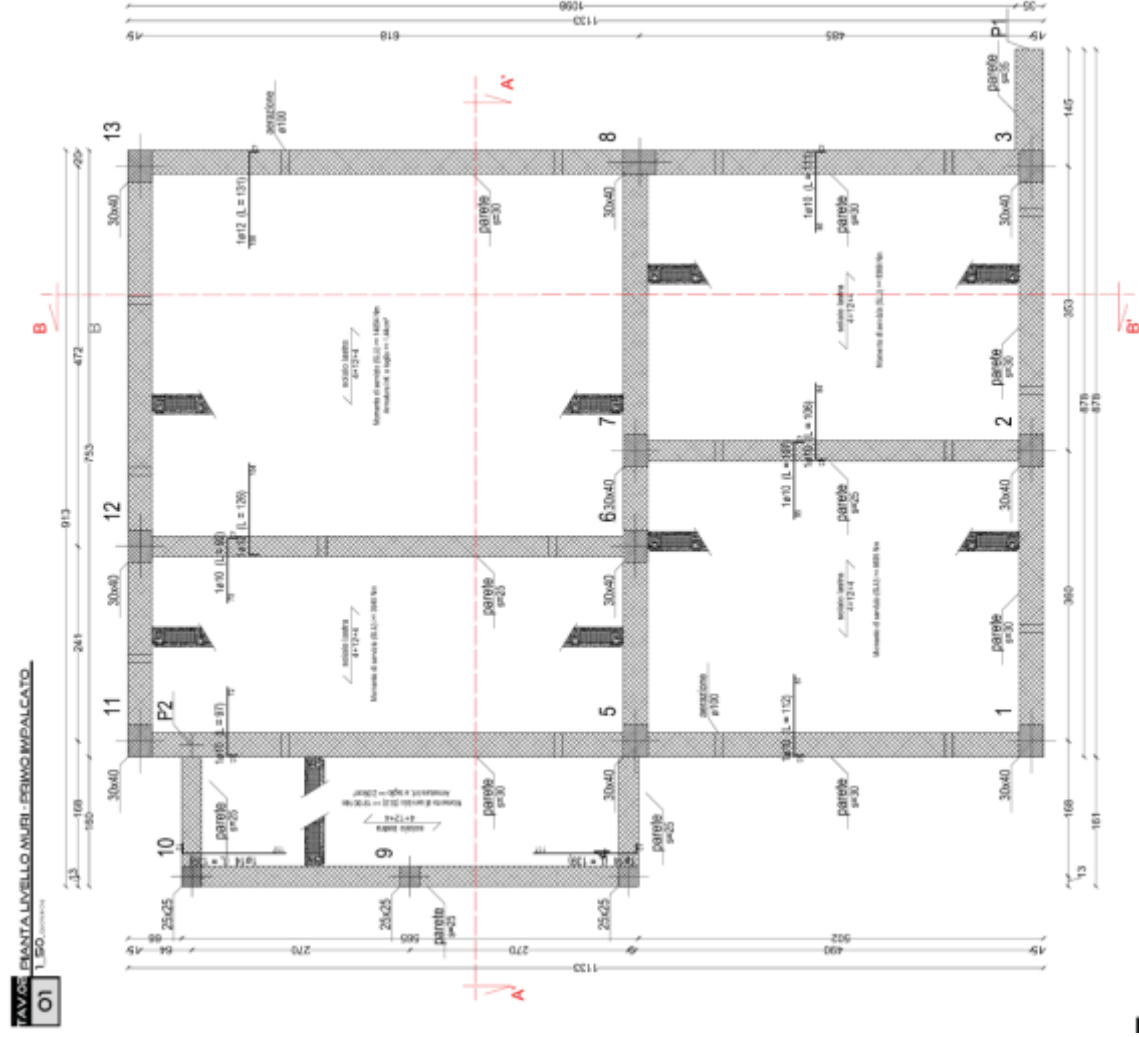


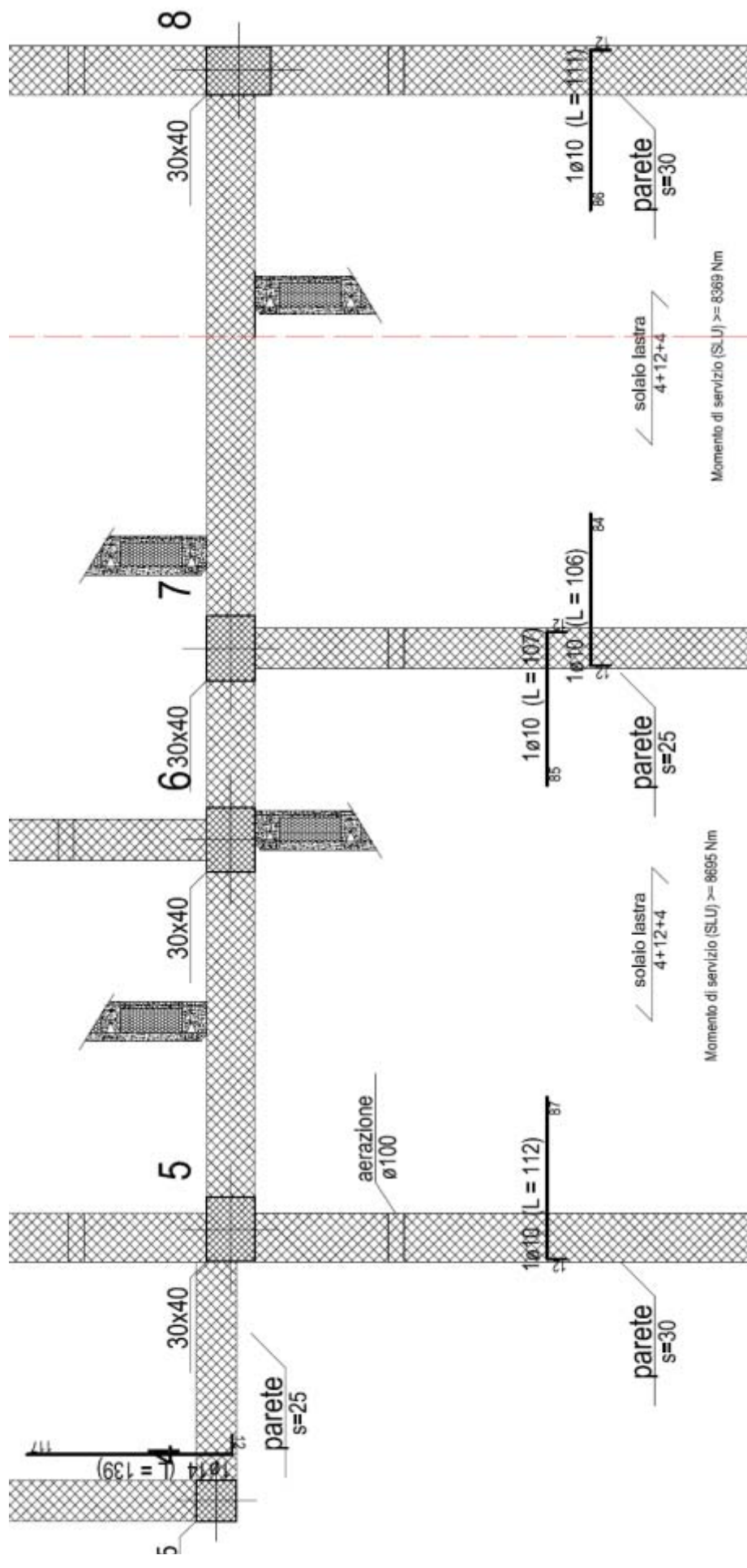


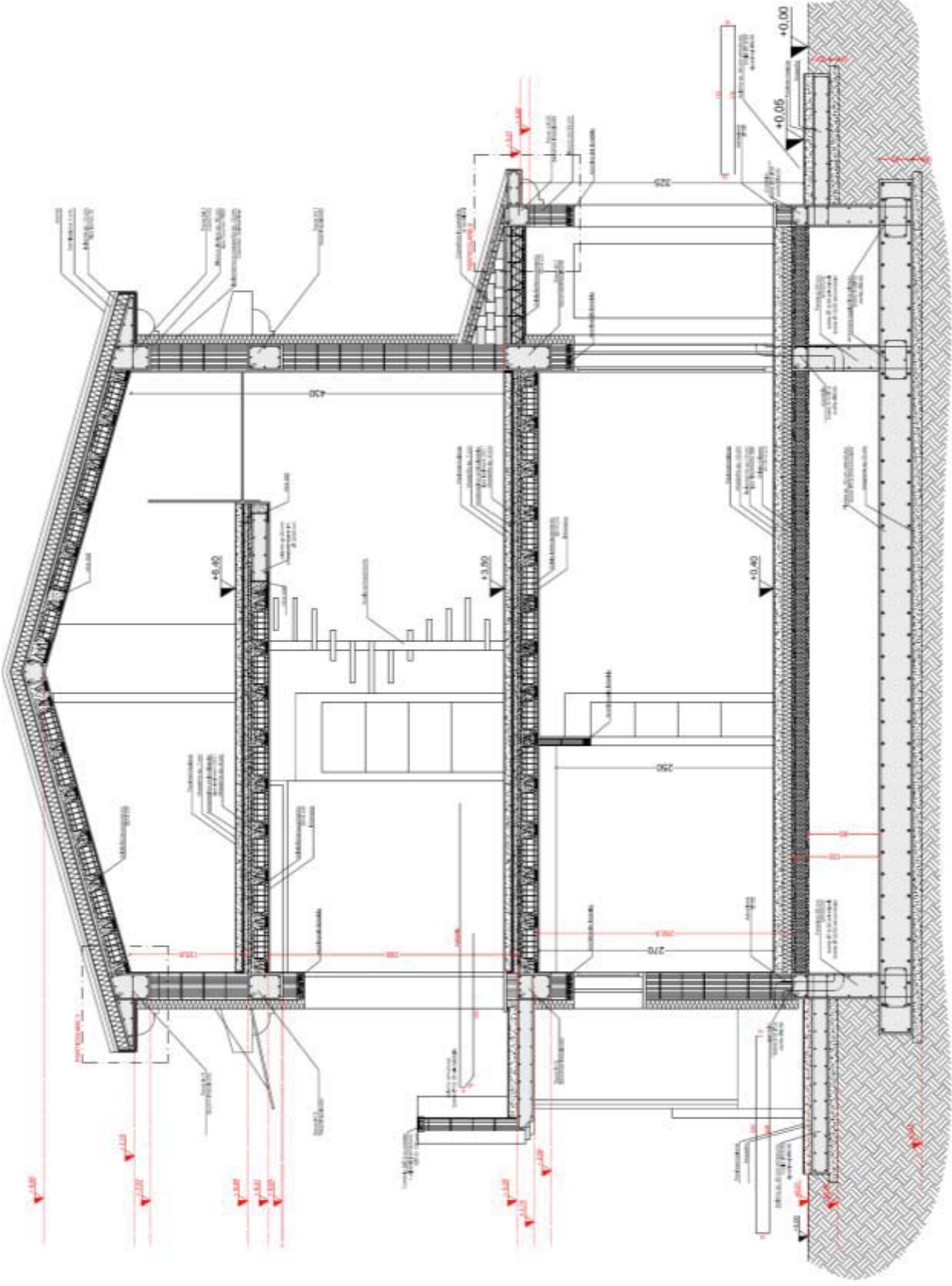


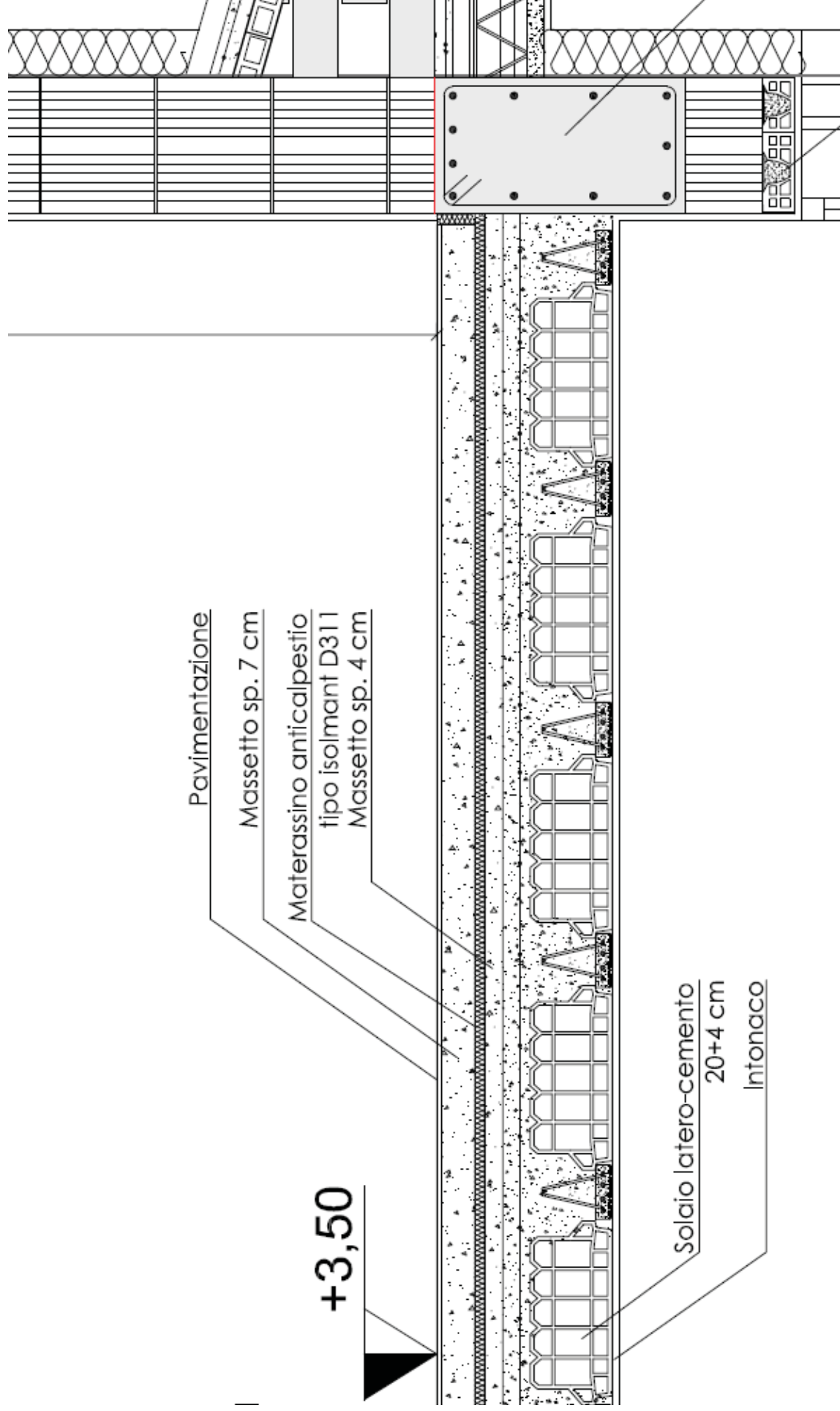


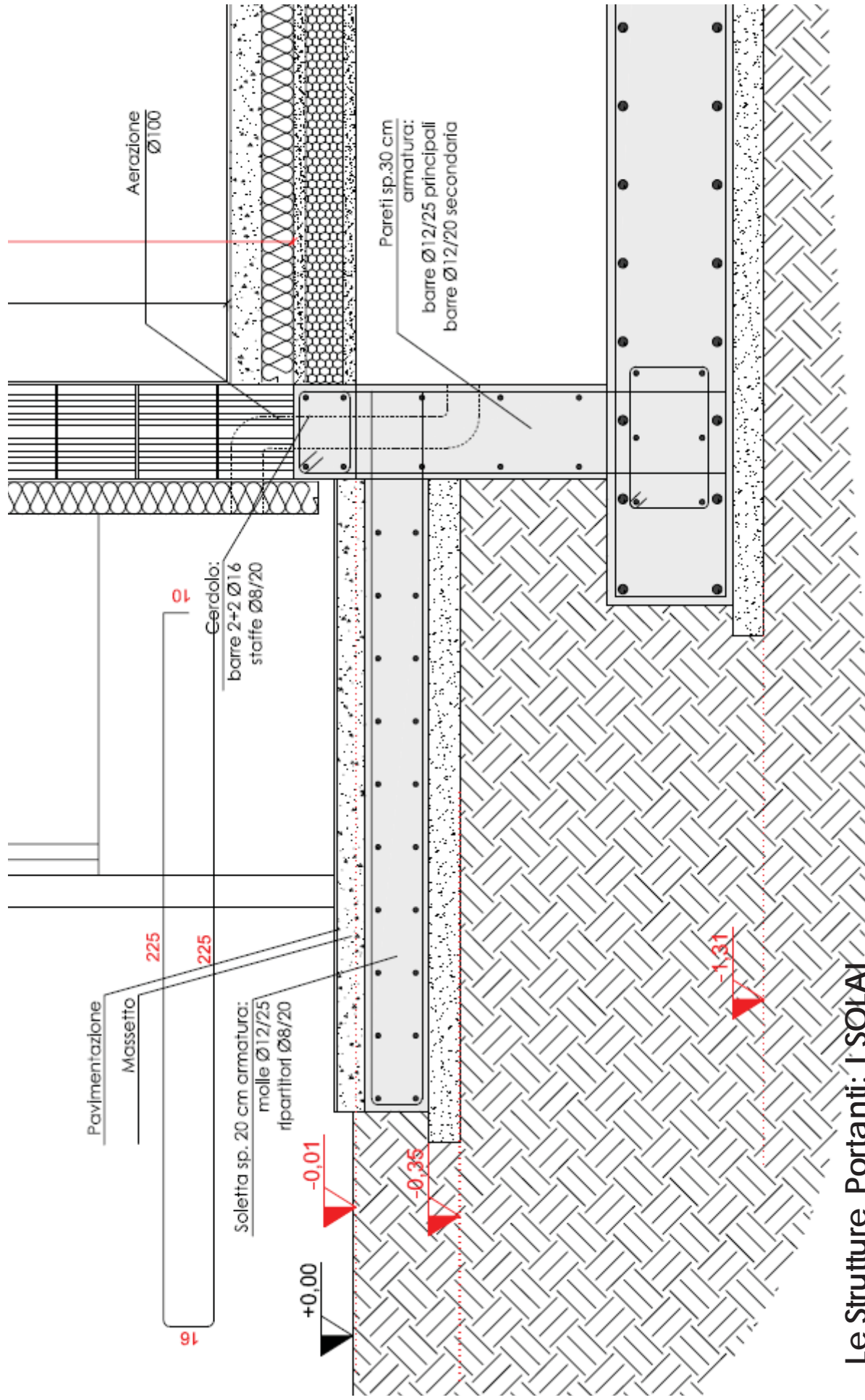


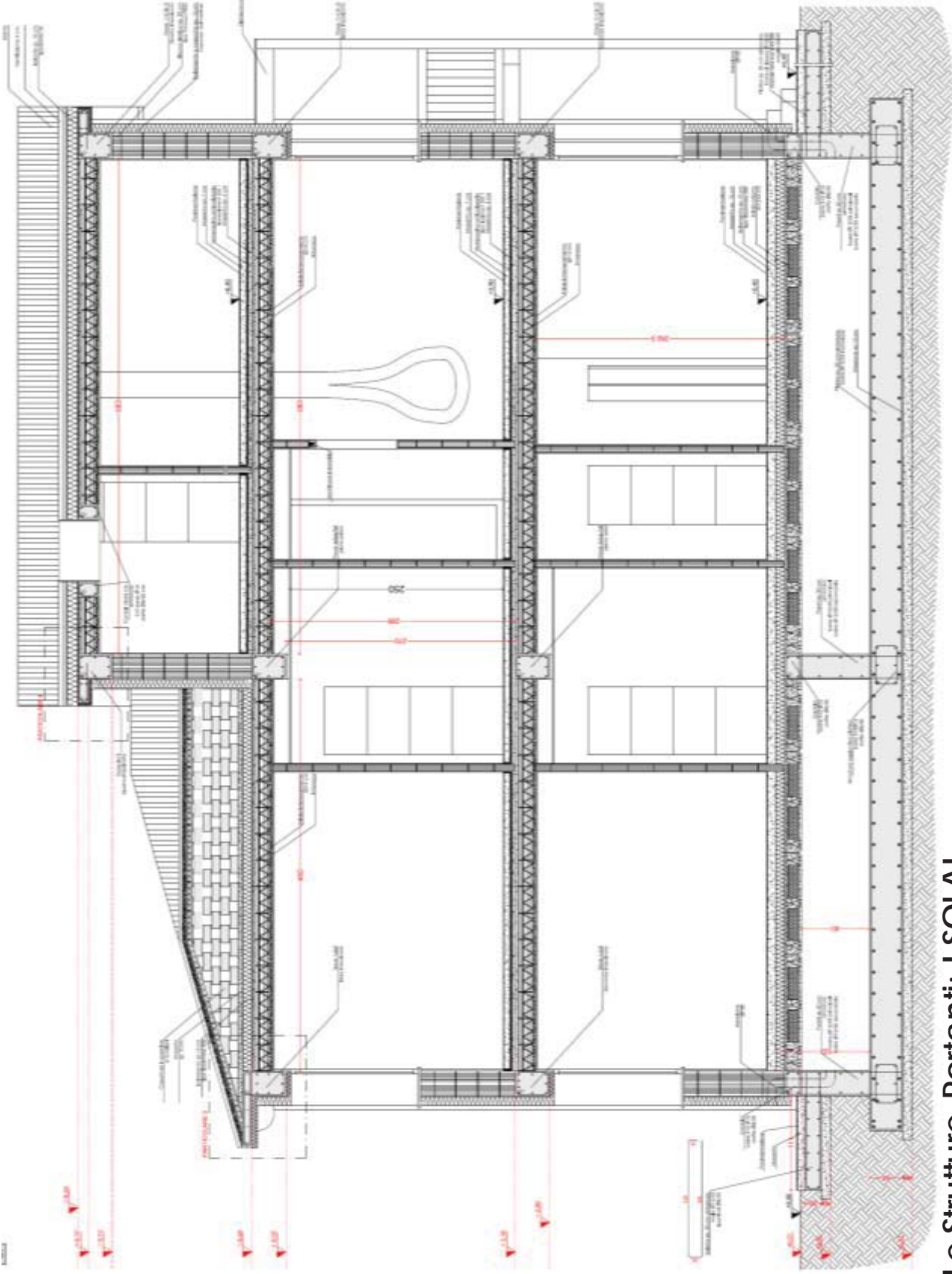


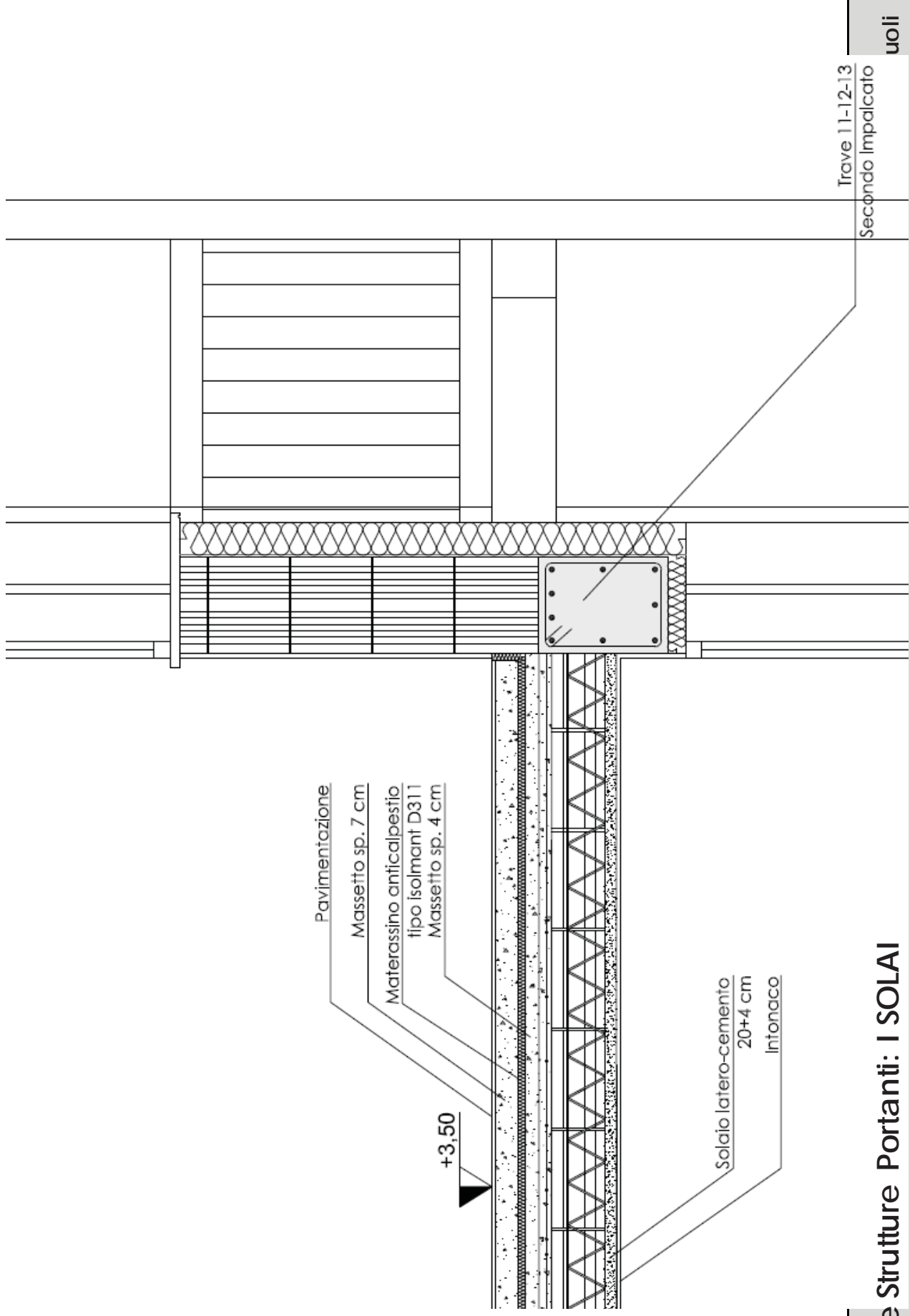


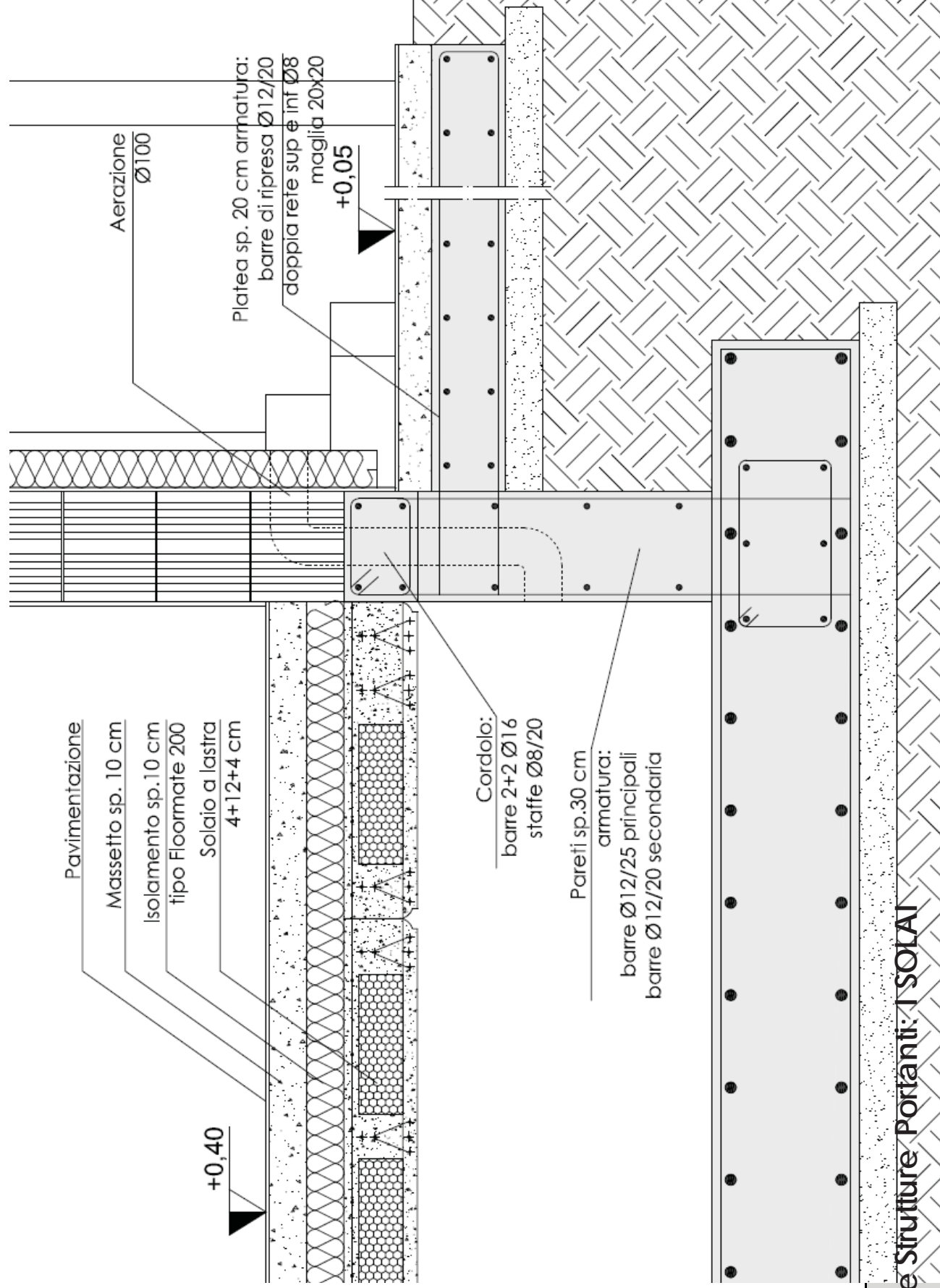












Quando negli anni '60 cominciarono ad imperversare edifici ad alto grado di prefabbricazione l'esigenza di avere solai interamente prefabbricati divenne una priorità. Nacquero così i **solai a pannelli prefabbricati in latero-cemento**, costituiti dall'assemblaggio in stabilimento di due o tre file di blocchi in laterizio con interposte le nervature portanti in cemento armato. In queste nervature sono anche posizionati i ganci per il posizionamento e la movimentazione del pannello che ha notevoli capacità autoportanti tanto che fino a luci di 6 metri, è sufficiente un solo rompitratta.



I pannelli vengono posizionati in cantiere uno accanto all'altro realizzando delle nervature da gettare in opera. Quasi tutta l'armatura è già stata disposta in stabilimento secondo i calcoli eseguiti sul solaio in oggetto. In cantiere è possibile aggiungere dell'armatura di completamento, tra cui quella per i momenti negativi, solo nelle nervature da gettare in opera. Se è prevista una soletta di completamento, allora può essere posizionata un'armatura superiore diffusa su tutto l'estradosso.









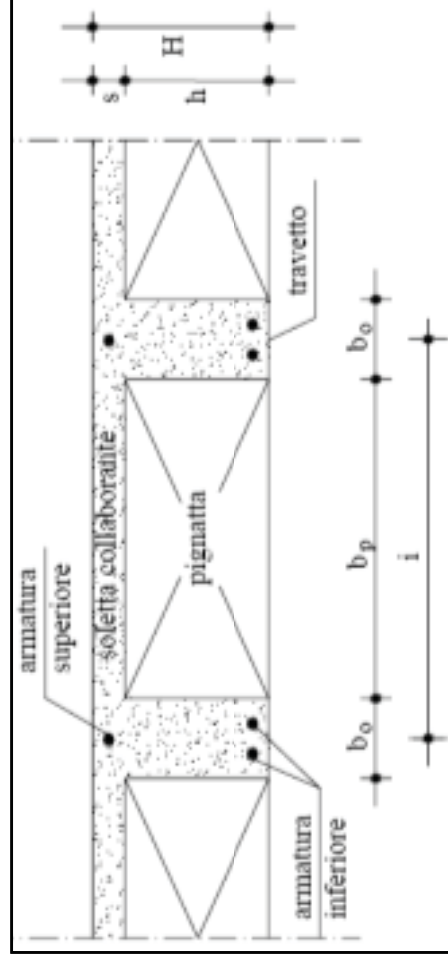






Le grandezze geometriche oggetto del **predimensionamento** sono:

- l'altezza del solaio H
- lo spessore della soletta s
- l'altezza della pignatta h , tale che $h + s = H$
- la larghezza della pignatta b_p
- la larghezza del singolo travetto b_0
- l'interasse tra i travetti i



La normativa impone le seguenti prescrizioni:

- $s \geq 4 \text{ cm}$
- $b_0 \geq 1/6 i$ e comunque $\geq 8 \text{ cm}$
- $i \leq 15 s$ e comunque $\leq 52 \text{ cm}$
- $H \geq 1/25 L$ e comunque $\geq 12 \text{ cm}$
- $H \geq 1/30 L$ se si utilizzano travetti precompressi

Alcune regole pratiche...

Il solaio in genere ha altezza costante nell'ambito di uno stesso impalcato, a meno di motivi particolari quali zone ribassate destinate al passaggio degli impianti o che devono garantire il deflusso esterno delle acque (balconi, terrazze...). Di conseguenza, il dimensionamento dell'altezza H deve essere fatto sulla luce più grande tra quelle che caratterizzano l'intero impalcato.

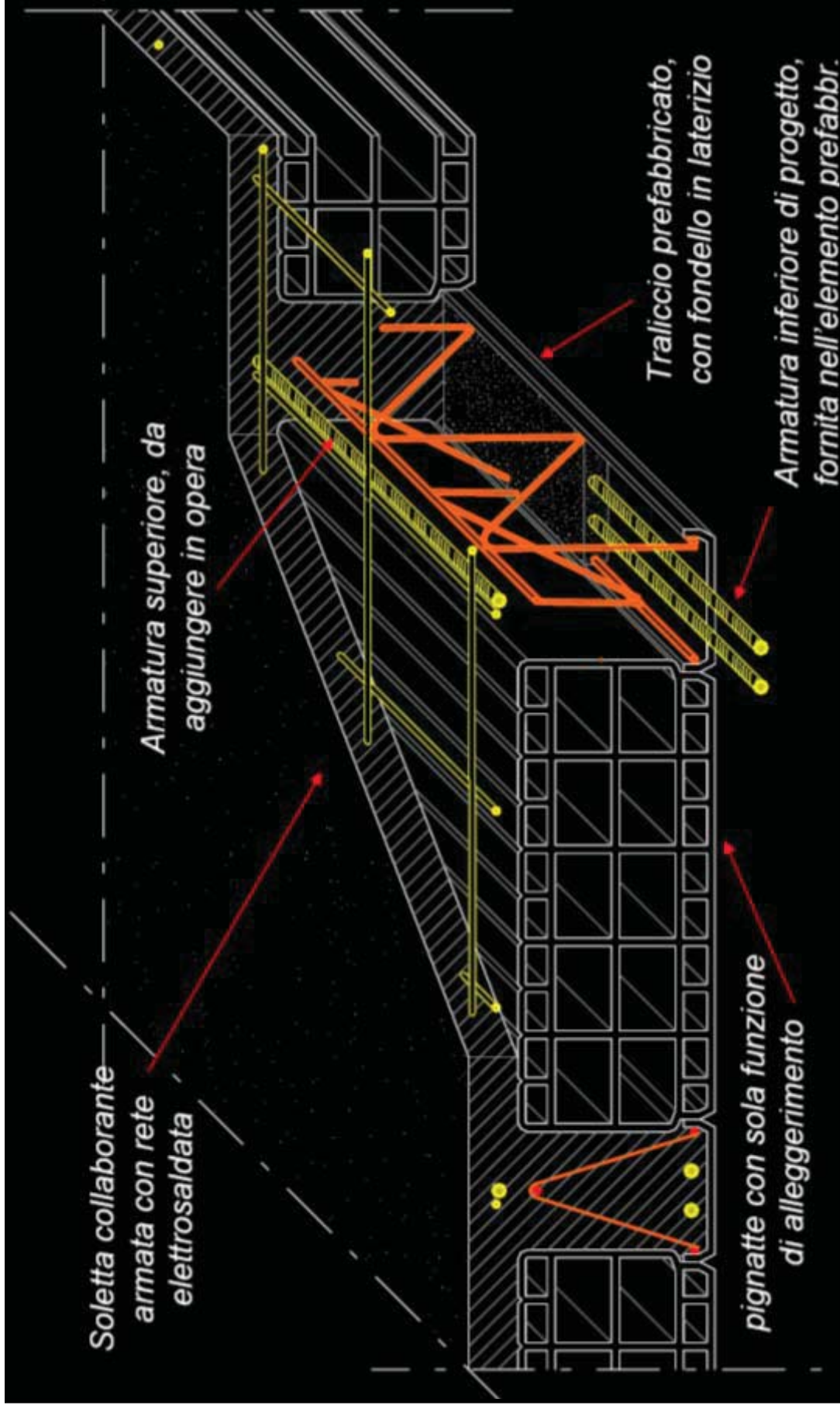
La **soletta** di un solaio ha, coerentemente con quanto imposto dalla normativa, **spessori che variano tra i 4 e i 5 cm**. In genere, in zona non sismica, lo spessore comunemente adottato è proprio quello minimo di 4 cm, in grado di garantirne la funzionalità e di limitare l'incidenza del suo peso sul carico complessivo che agisce sul solaio. In zona sismica invece sono più frequenti solette da 5 cm che consentono l'alloggiamento di un quantitativo più consistente di armature di ripartizione.

L'**altezza delle pignatte** comunemente in commercio, **parte da un minimo di 12 cm** per crescere a passi costanti di due centimetri (16, 18, 20...). È evidente quindi che lo spessore minimo di un solaio latero-cementizio con soletta collaborante non potrà mai essere inferiore a $12\text{ cm} + 4\text{ cm} = 16\text{ cm}$. La pignatta da 14 cm è ormai quasi introvabile.

Dimensioni usuali **per i travetti** di un solaio in cemento armato non precompresso, sono **larghezze b_0 non inferiori ai 10 cm, ma in genere neanche superiori ai 14 cm**. Dalla dimensione di base del travetto dipende l'ampiezza delle cosiddette "fascie piene di calcestruzzo" che vengono realizzate a coronamento del solaio alleggerito, a ridosso delle travi portanti.

Utilizzando una soletta con spessore 4 cm, l'interasse tra i travetti potrebbe essere portato fino a $15 \times 4 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$. In realtà, **interassi usuali si aggirano attorno ai 50 cm con dimensioni di base delle pignatte variabili tra i 38 ed i 40 cm**. In questo modo si evita di sovraccaricare in maniera eccessiva il travetto in cemento armato.

Le prescrizioni di normativa e queste poche regole pratiche di progettazione legate all'industrializzazione dei materiali e all'esperienza accumulata in anni e anni di sperimentazione sul campo, consentono di predimensionare in maniera veloce e sicura un solaio tradizionale in latero-cemento.



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

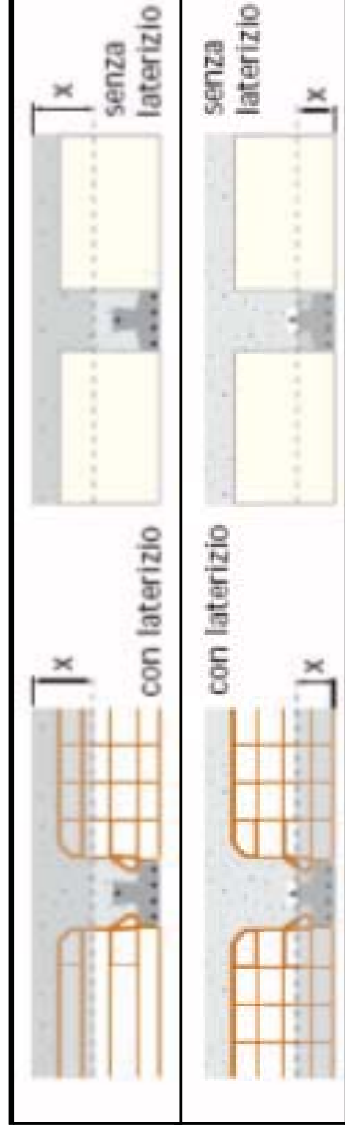
- **Blocchi non collaboranti** (categoria A)
- **Blocchi collaboranti** (categoria B)

Si individuano infatti due categorie di solaio in laterizio:

1. Solai con **blocchi aventi funzione principale di alleggerimento (non collaboranti)**
2. 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 tenere conto nel calcolo del loro contributo alla statica dell'insieme.

Nel secondo caso la normativa "permette" di contribuire alla formazione delle caratteristiche meccaniche della sezione resistente (ovvero si tengono in considerazione le pareti verticali ed orizzontali dei blocchi), per cui oltre ad alleggerire il solaio collaborano staticamente.



Il profilo delle pareti laterali che limitano le nervature resistenti devono individuare delle sezioni adeguate per tali nervature e favorire il corretto getto del calcestruzzo.

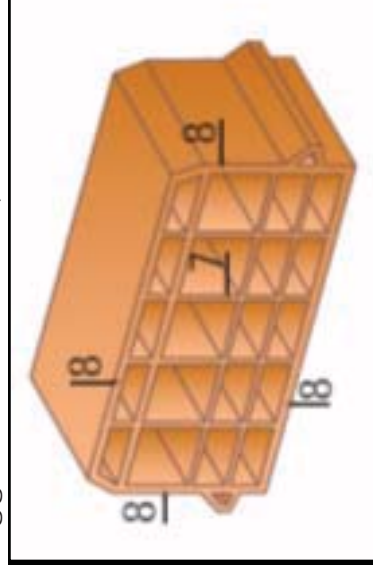
Le forme devono essere semplici, caratterizzate da setti rettilinei e allineati (particolarmente quelli in direzione orizzontale), con setti aventi un rapporto spessore/lunghezza il più possibile uniforme.

Gli spessori delle pareti perimetrali (orizzontali e verticali) del blocco di categoria A o B, così come gli spessori delle pareti orizzontali che nell'organizzazione statica del solaio saranno compresse (blocchi di categoria B) devono essere non minori di 8 mm.

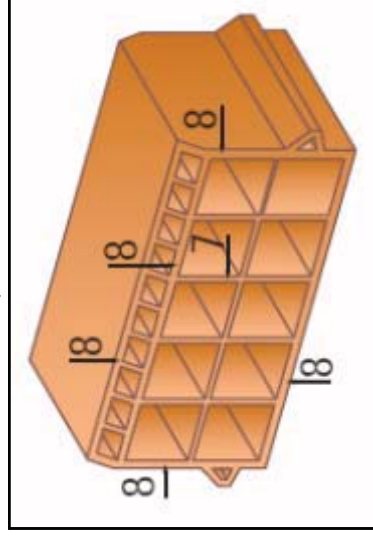
Lo spessore dei setti interni deve essere non minore di 7 mm.

Tutte le intersezioni dovranno essere raccordate con raggio di curvatura, al netto delle tolleranze, maggiore di mm 3.

Il rapporto tra l'area complessiva dei fori e l'area lorda delimitata da perimetro della sezione dei blocchi non deve essere maggiore di $0.6 + 0.625h$ (dove h è l'altezza del blocco in metri, $h \leq 32$ cm).



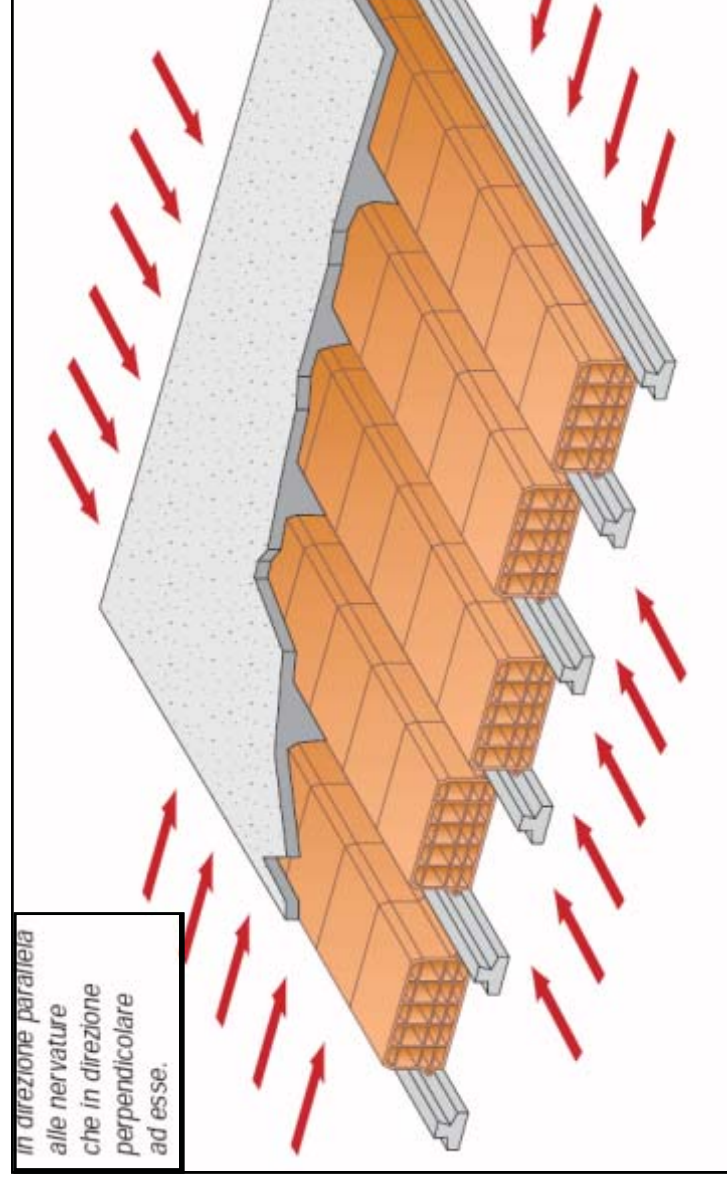
Blocco di categoria A



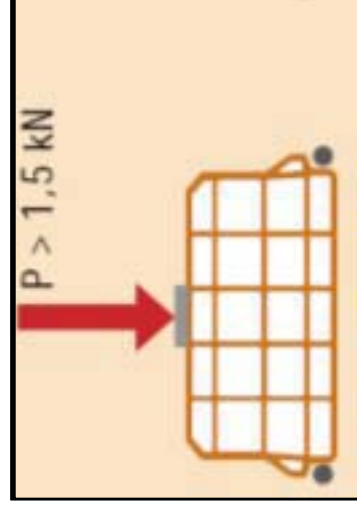
Blocco di categoria B

Il rispetto delle disposizione descritte 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:

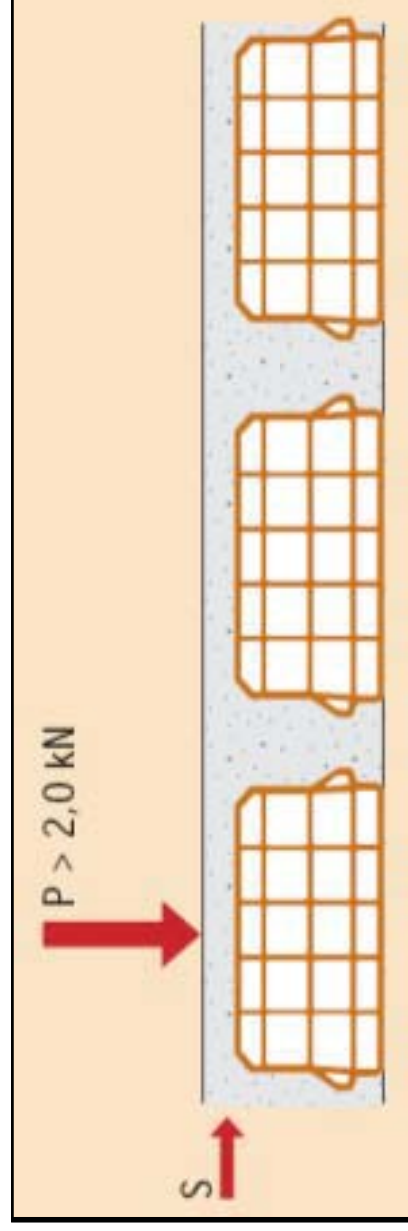
- Nel primo caso intervengono lo spessore dei setti e la percentuale di foratura;
- Nel secondo caso sono determinanti l'allineamento e la continuità dei setti orizzontali, la snellezza dei setti (rapporto spessore/lunghezza) e ancora la percentuale di foratura.



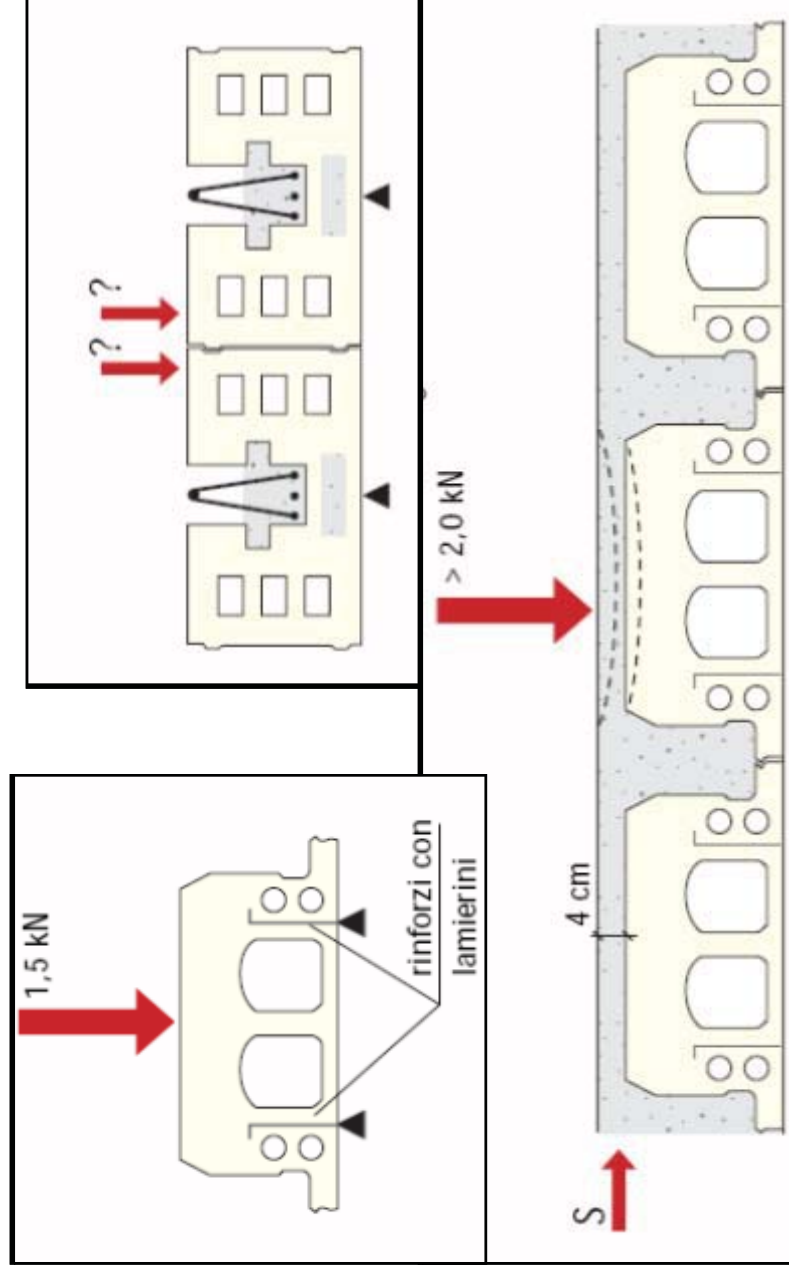
Mentre tali caratteristiche sono soddisfatte molto bene dai blocchi di laterizio, per blocchi di altro tipo di materiale non sempre è possibile garantire la trasmissione degli sforzi, sia per cause insite nello stesso materiale, sia per la loro conformazione geometrica.



RESISTENZA AL PUNZONAMENTO



Il requisito di resistenza a punzonamento – flessione deve essere rispettato anche da tutti i tipi di blocco diversi dal laterizio. Questi ultimi (ad esempio quelli realizzati con materiali plastici o calcestruzzi con inerti molto 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 comunque chiamato a soddisfare.



Per i blocchi collaboranti, la resistenza caratteristica a compressione, riferita alla sezione netta delle pareti e delle costolature, deve risultare non minore di 30MPa nella direzione dei fori, e di 15 MPa nella direzione trasversale dei fori, nel piano del solaio.

La resistenza caratteristica a trazione per flessione, determinata su campioni ricavati dai blocchi mediante opportuno taglio di listelli deve essere non minore di 10 Mpa.

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

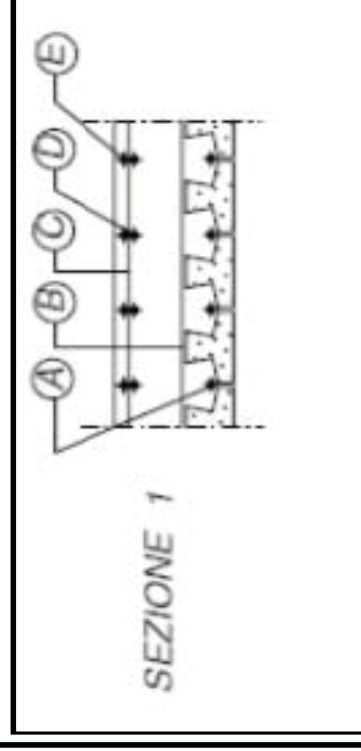
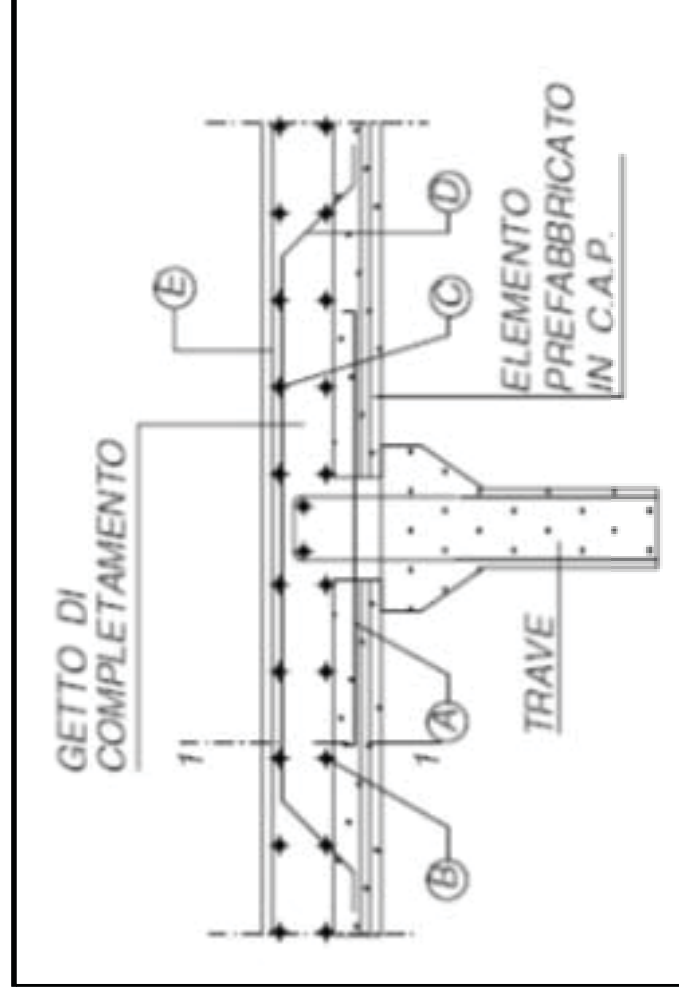
Devono inoltre essere previste limitazioni per il coefficiente di dilatazione termica lineare del laterizio ($\alpha > 6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) e per il valore della dilatazione per umidità ($\gamma < 4 \cdot 10^{-4}$)

Tutto questo per esigenze 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...).

SOLAI CON ELEMENTI PREFABBRICATI IN C.A.P.

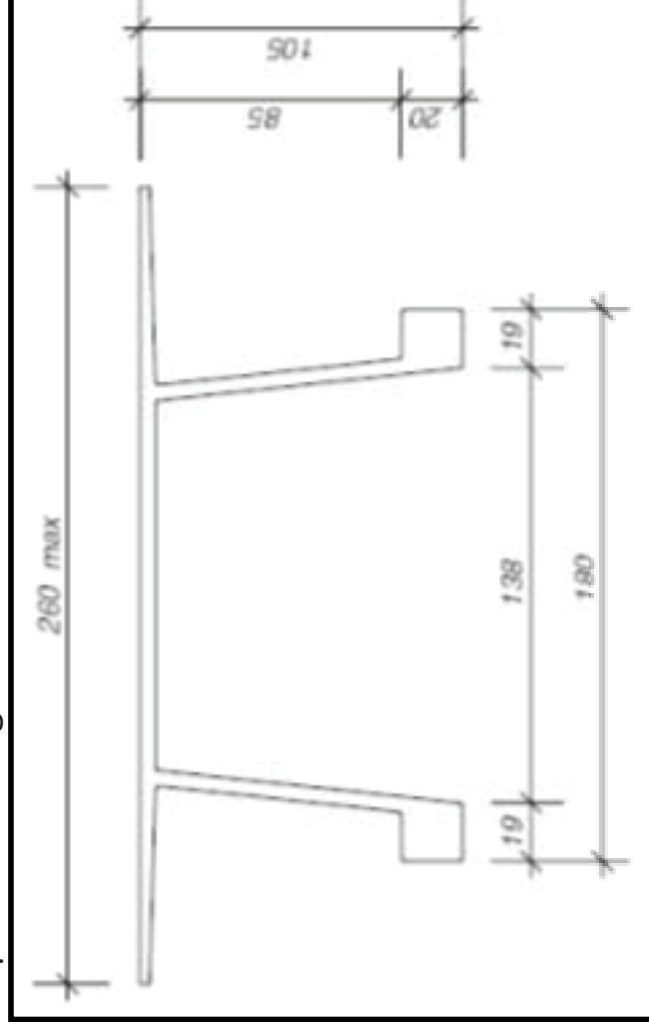
Per realizzare elevate capacità portanti e/o luci considerevoli utilizzando elementi di comune produzione si utilizzano travetti prefabbricati come quelli già visti, disposti in maniera affiancata senza alcun elemento di alleggerimento, completati da una soletta di calcestruzzo armato gettata in opera. Si realizza così un solettone con portanza unidirezionale, con una soletta superiore avente le capacità di trasferire il carico anche trasversalmente.



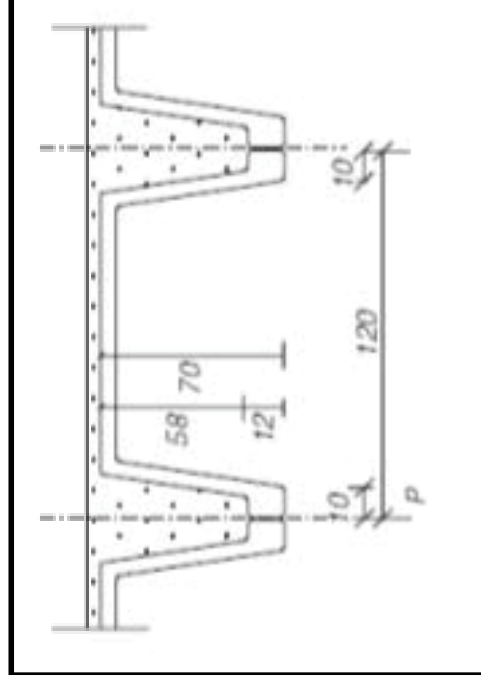
SOLAI CON ELEMENTI A II

Sono costituiti utilizzando tegoli aventi sezione somigliante ad pi greco. Questi elementi, disposti affiancati, realizzano coperture di grande luce, fino a 24 m. L'altezza del tegolo dipende dalla luce e dal carico cui è sottoposto. Possono essere disposti accostati con o senza soletta di collegamento superiore gettata in opera.

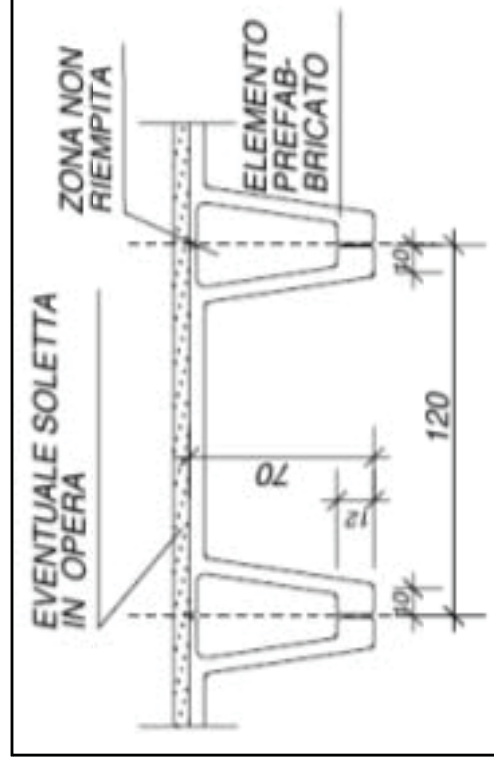
Spesso nelle coperture industriali, i tegoli vengono disposti distanziati così da realizzare asole per l'illuminazione degli ambienti sottostanti. Tra le nervature trovano alloggio le canalizzazioni degli impianti tecnologici.



Solai a Π con getti di completamento in opera (nervature e soletta)



Solai a Π con eventuale getto di completamento in opera della soletta

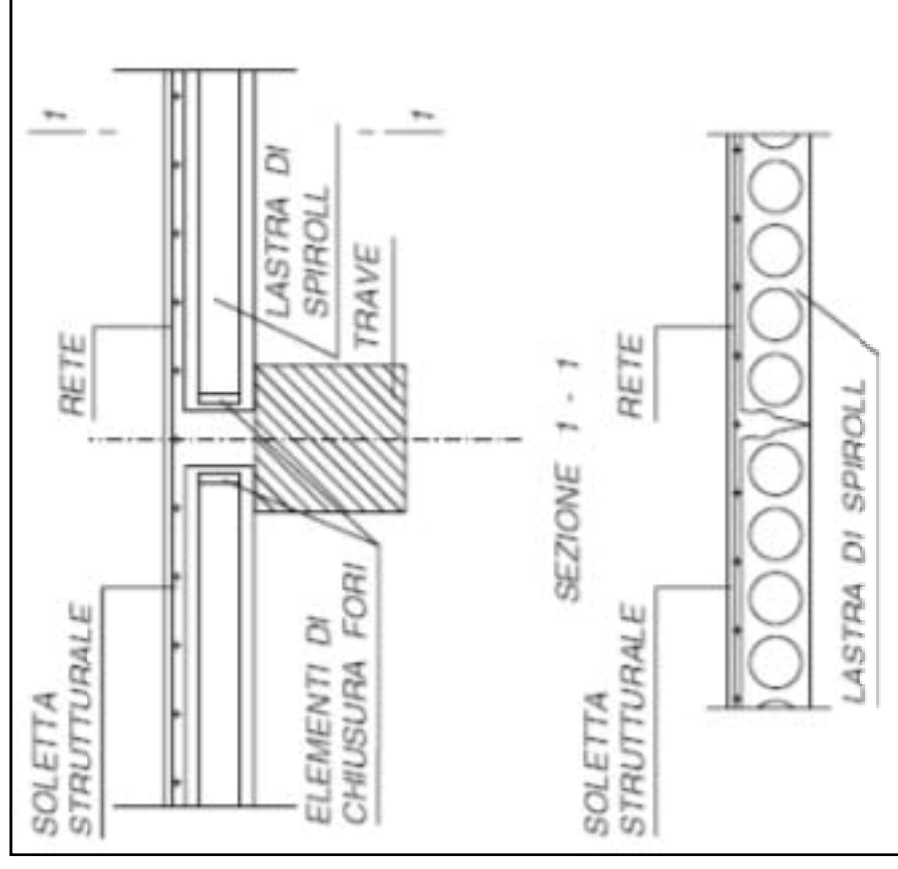


SOLAI A PANNELLI ALLEGGERITI

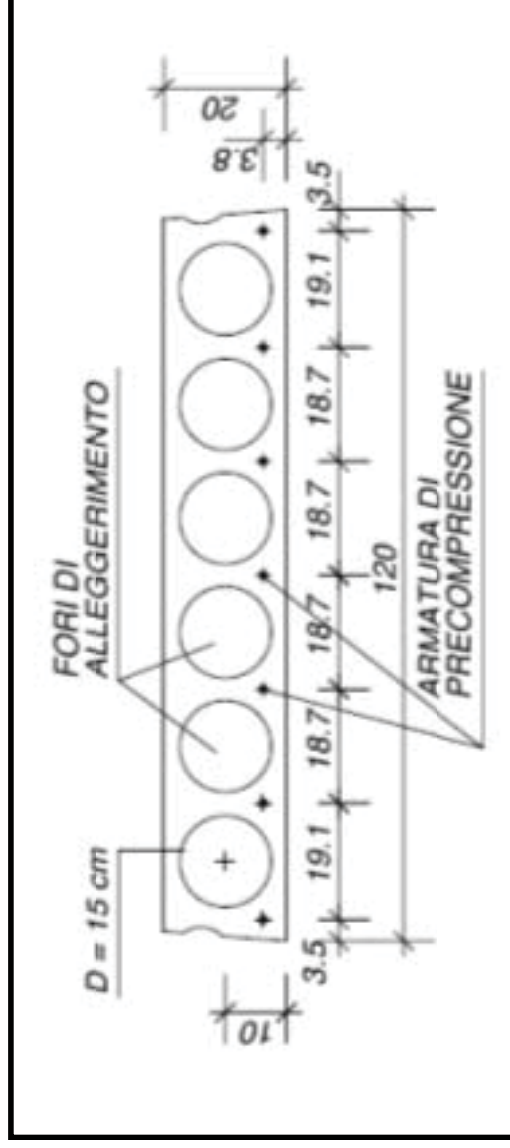
Sono elementi prefabbricati in c.a. precompresso avente sezione generalmente rettangolare con fori interni di alleggerimento. Le larghezze sono generalmente intorno a 1.2 m – o 0.6 m, mentre le altezze dipendono dalla luce e dal carico utile a cui verranno sottoposti.

Questi elementi vengono disposti uno accanto all'altro e resi solidali tra loro con una soletta superiore gettata in opera.

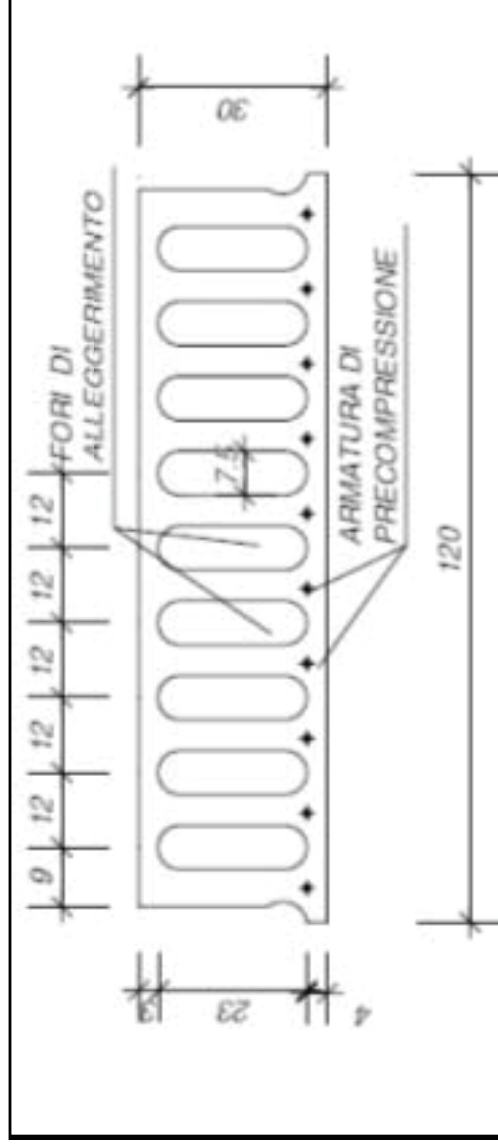
Ogni volta che si ha a che fare con elementi in c.a.p. con armatura pretesa è necessario che in corrispondenza degli appoggi vengano predisposte delle armature ordinarie per un tratto di lunghezza superiore alla lunghezza di trasferimento della precompressione. Queste armature si inseriscono nelle forature di alleggerimento tra un pannello ed un altro.

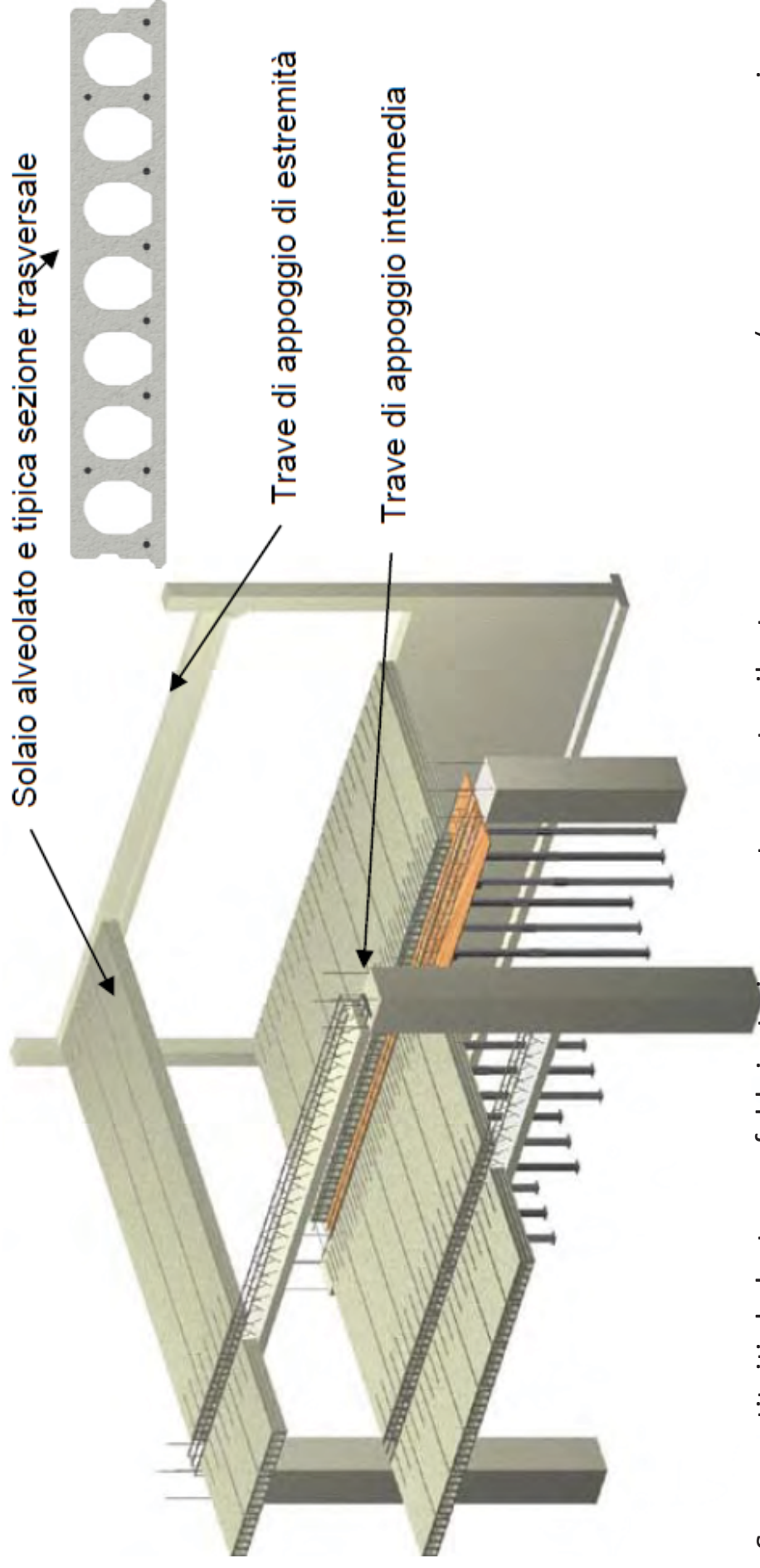


Solai estruso in c.a.p. con alleggerimenti di sezione circolare

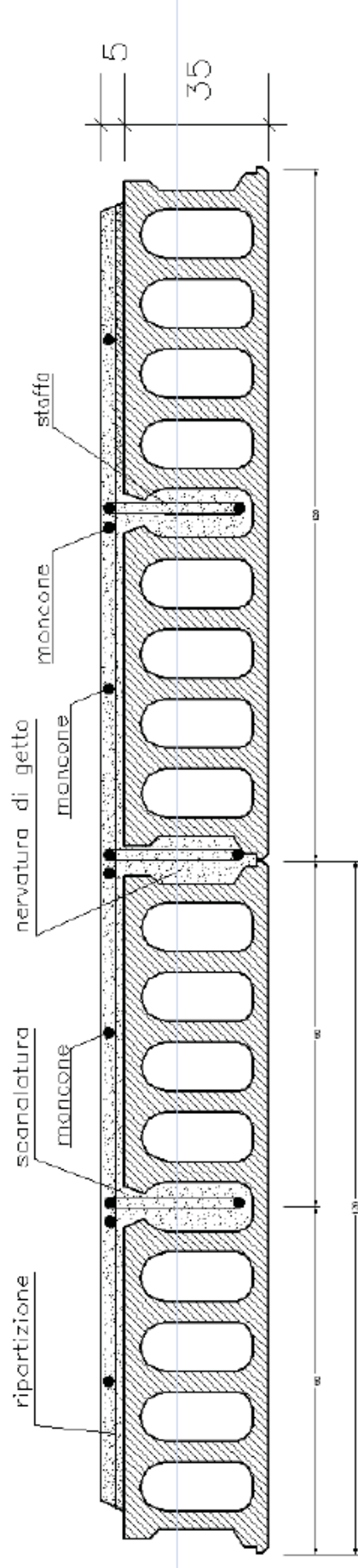


Solaio estruso in c.a.p. con alleggerimenti di sezione pseudocircolare

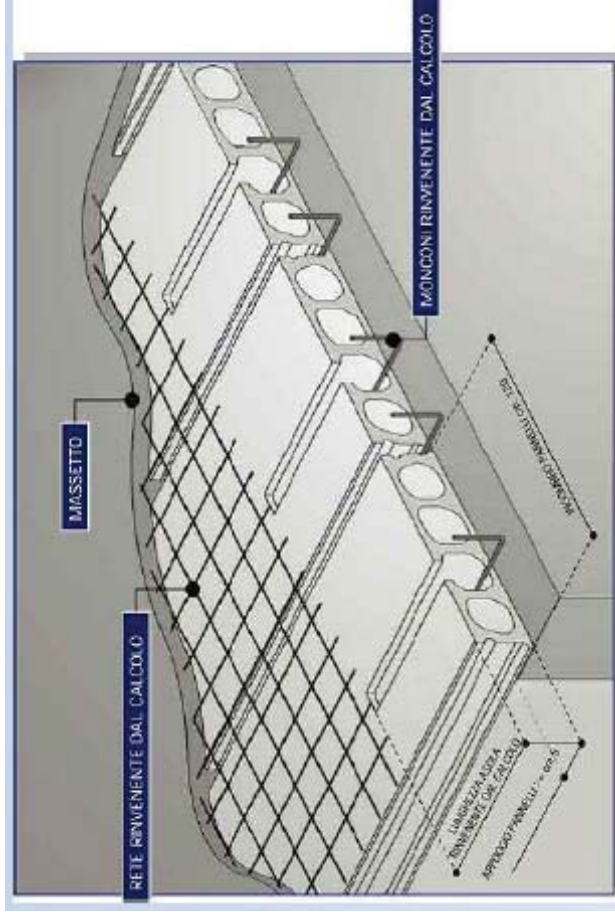




Sono costituiti da lastre prefabbricate in cemento armato vibrato e precompresso (con precompressione a fili aderenti) larghe in genere 1,2 m utilizzate in genere nelle costruzioni prefabbricate (grossi centri commerciali, edilizia industriale, parcheggi, etc). Le lastre sono dette “alveolare” in virtù della presenza di canali realizzati in stabilimento mediante dei tubi-forma con la funzione di alleggerire il peso, di risparmio di materiale e di conferire al pannello migliori caratteristiche di fonosorbente, isolamento termico e resistenza al fuoco.

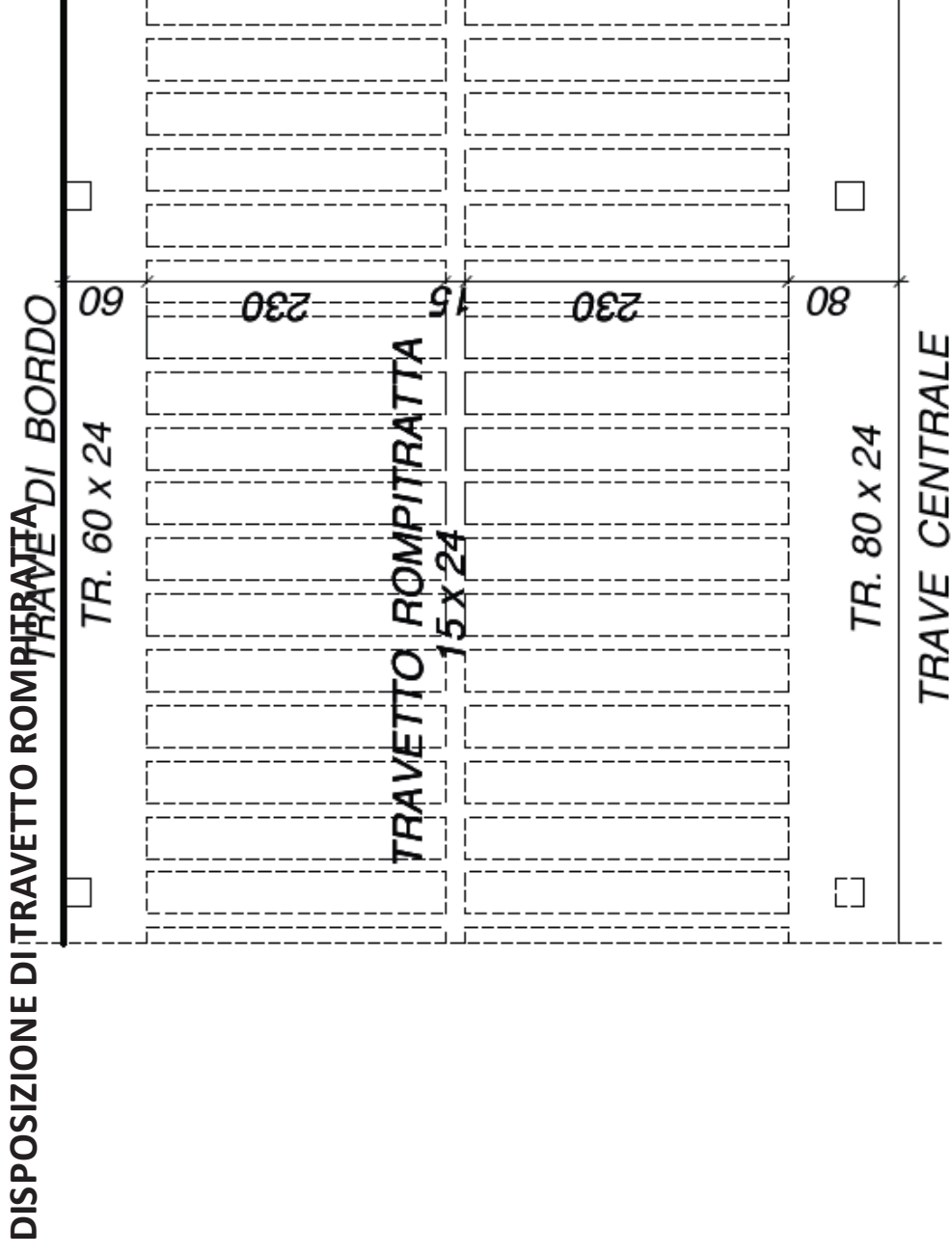


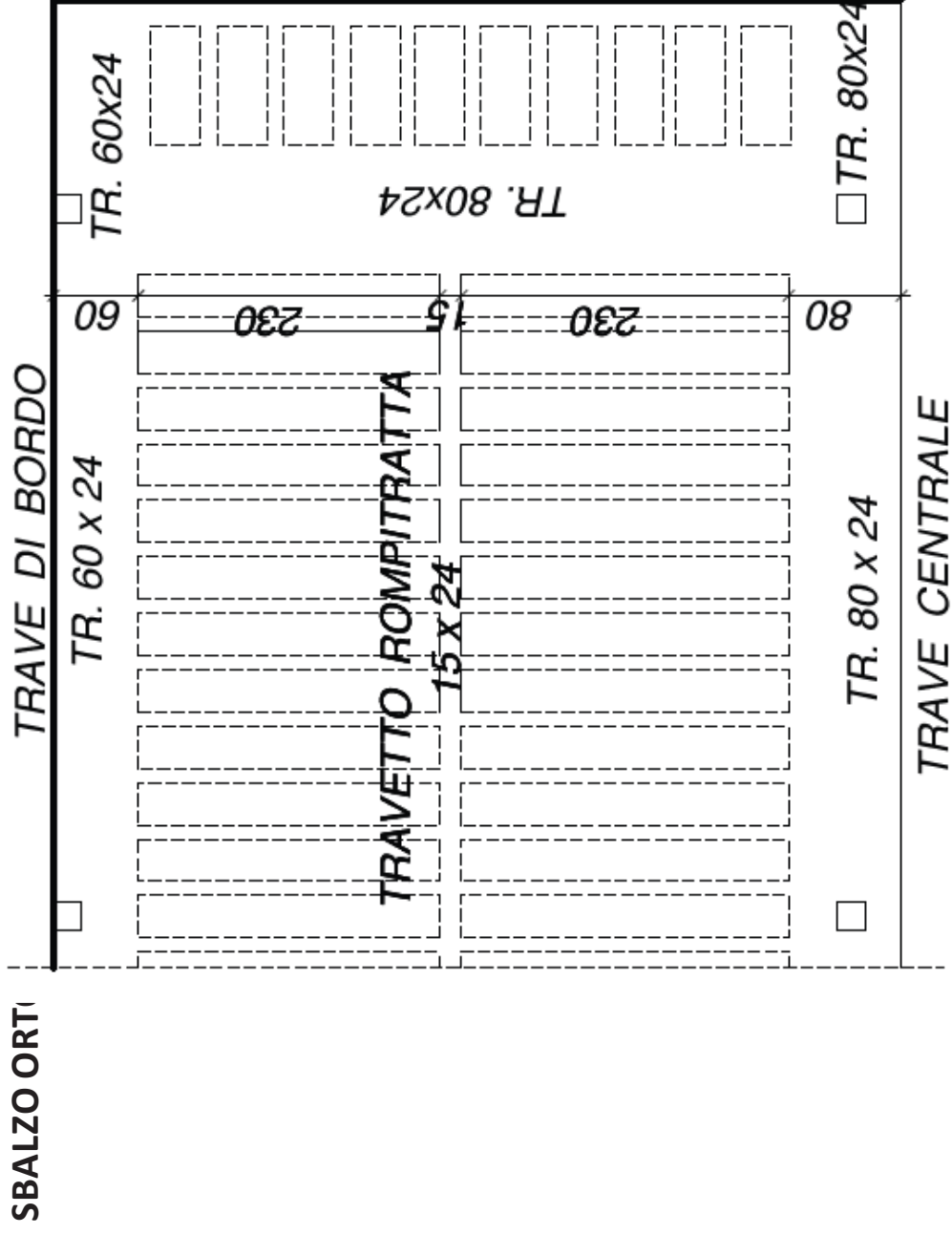
SOLETTA CON PANNELLI PRECOMPRESSI MULTIFORO



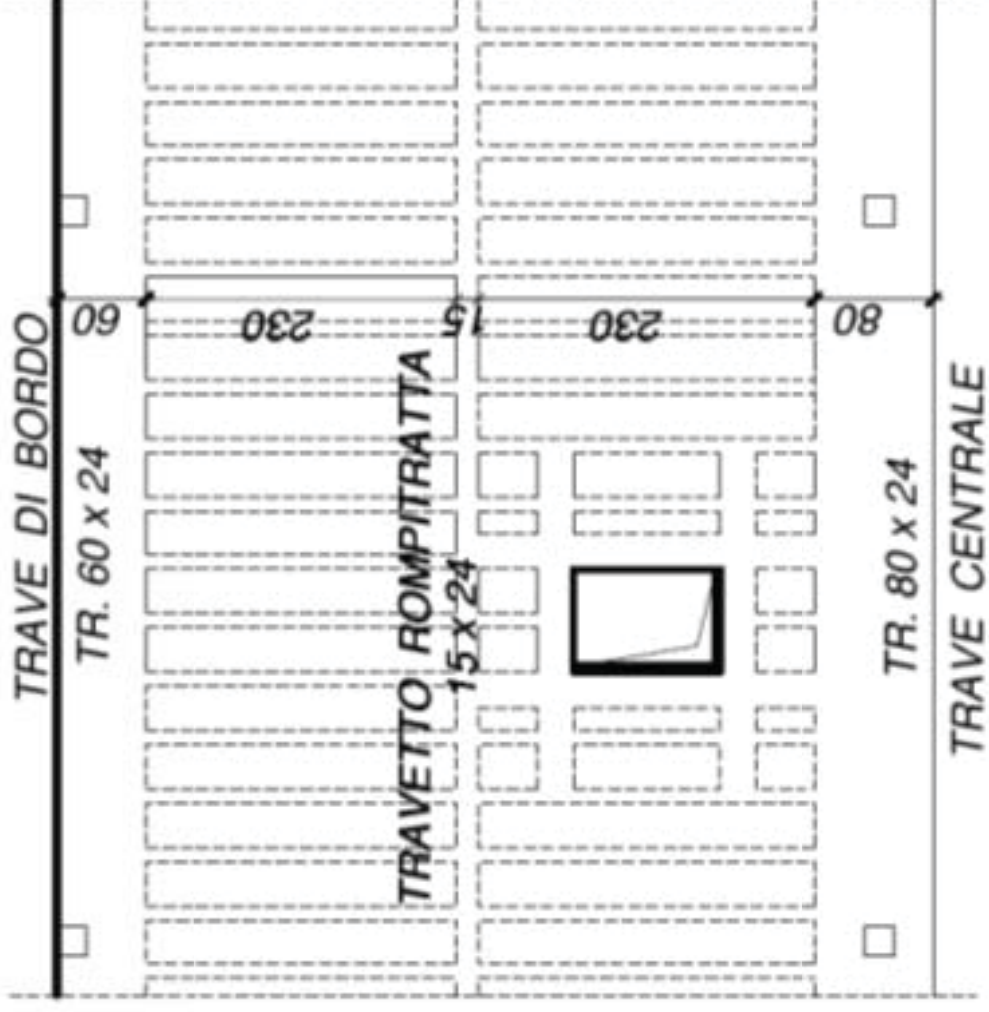


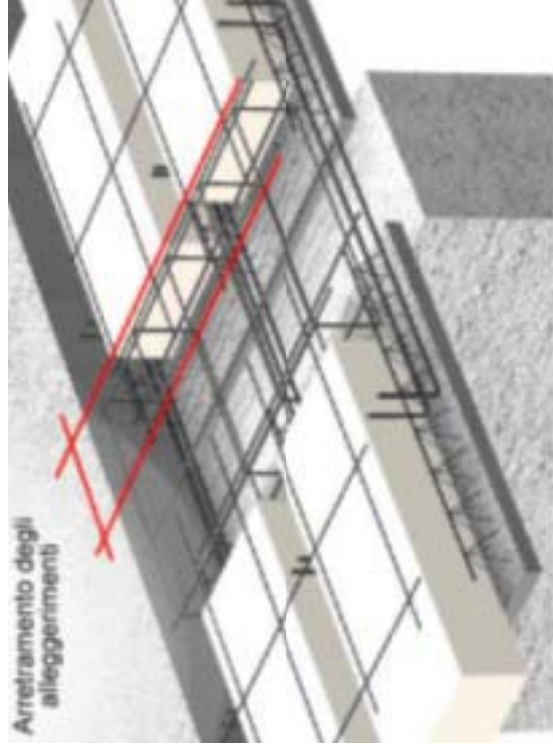




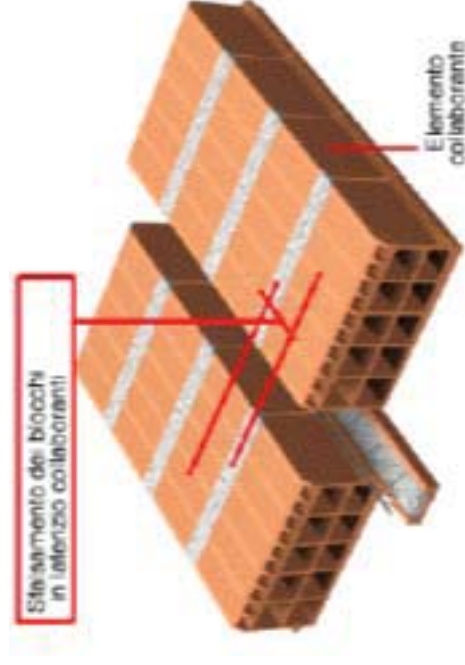


ROMPITRATTI,

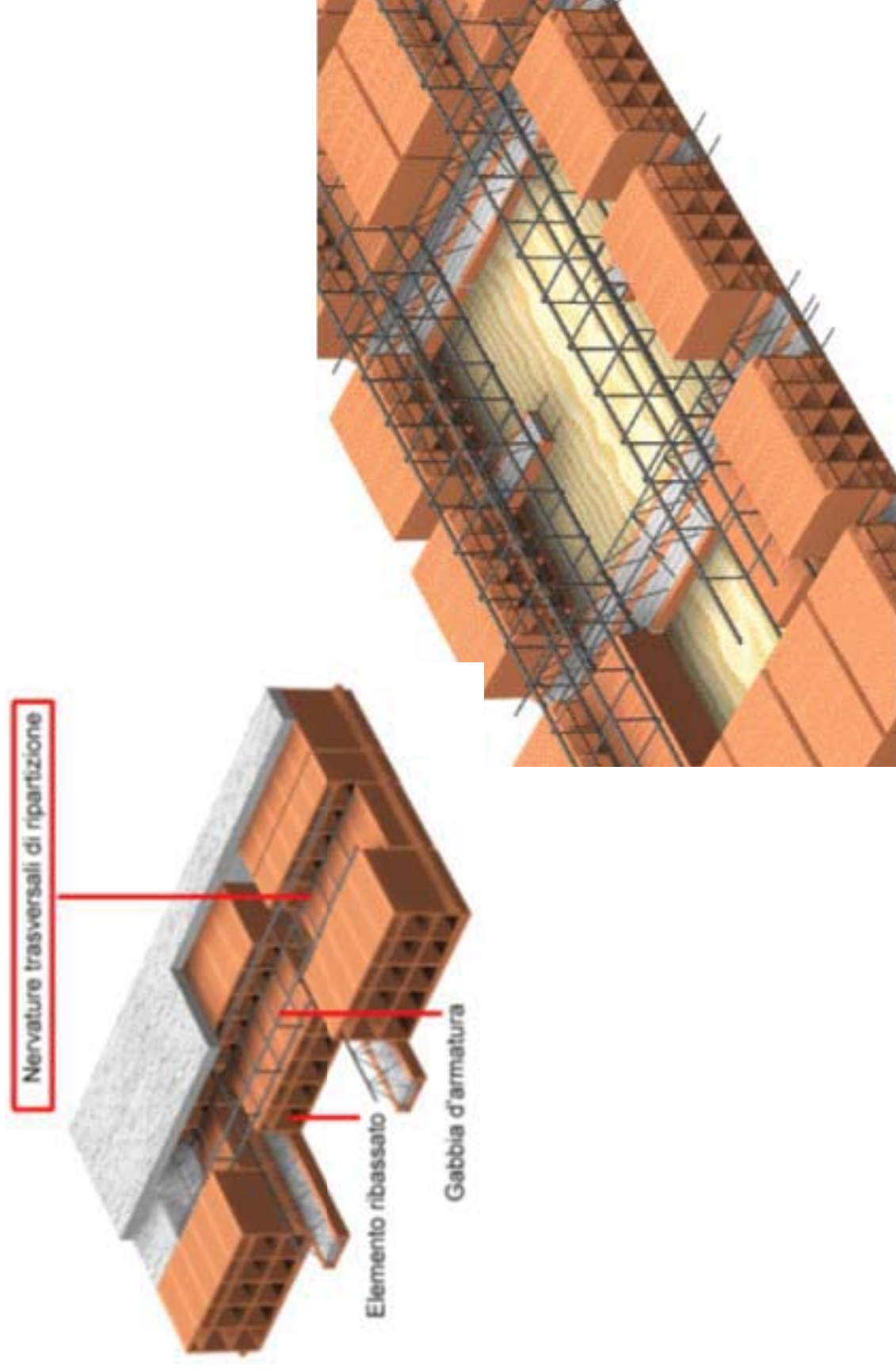


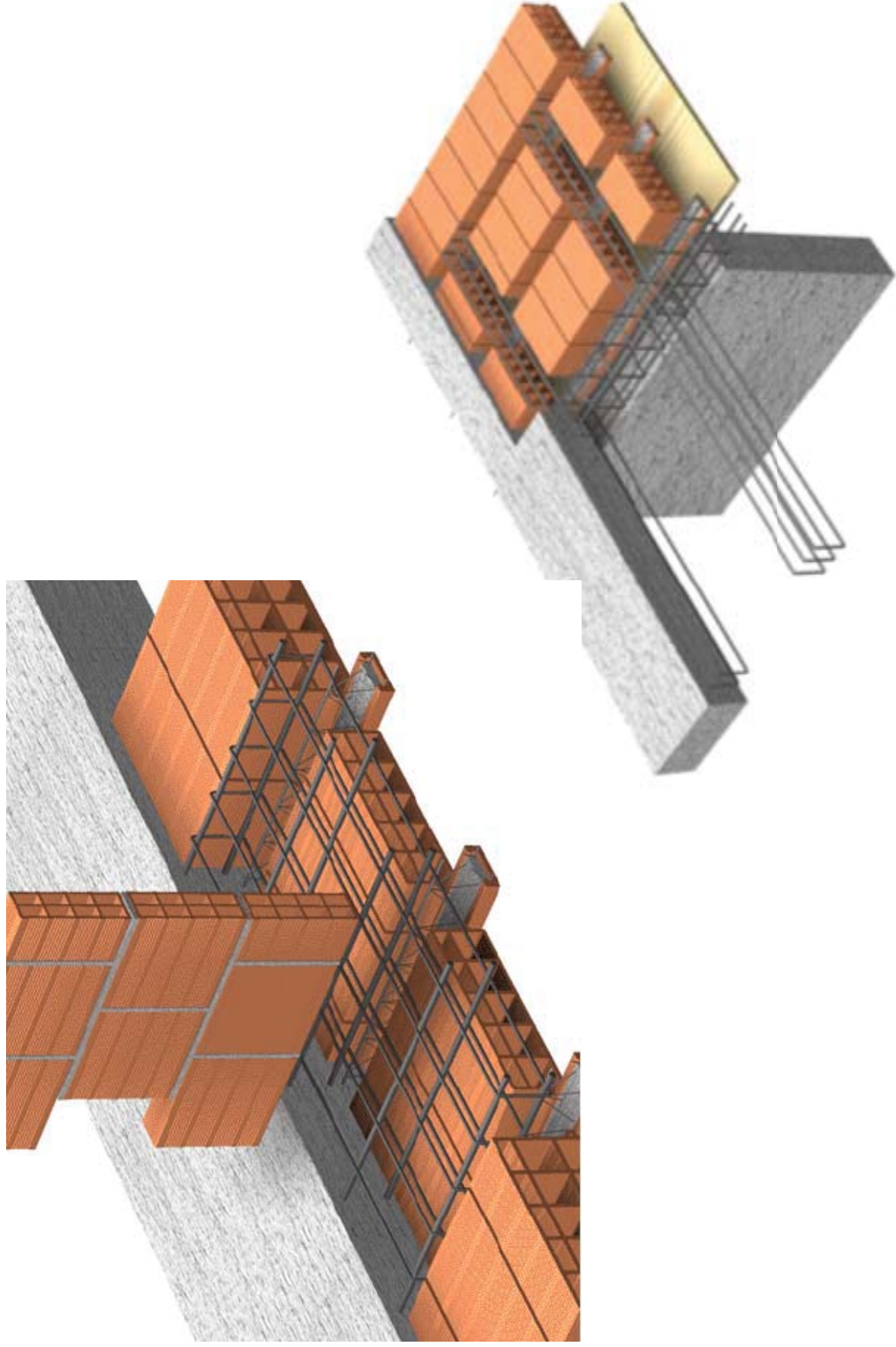


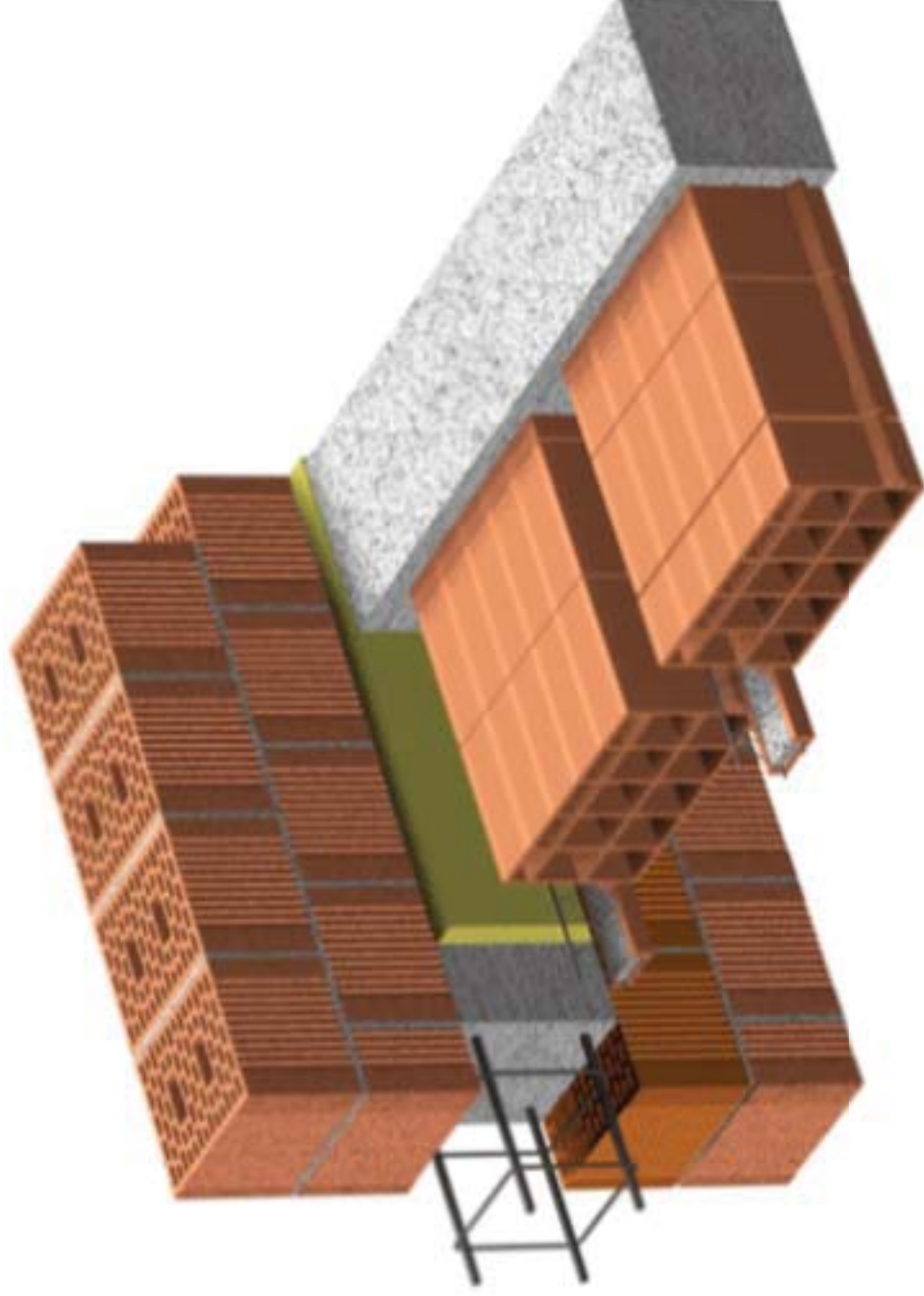
ARRETRAMENTO DEGLI ELEMENTI DI ALLEGGERIMENTO



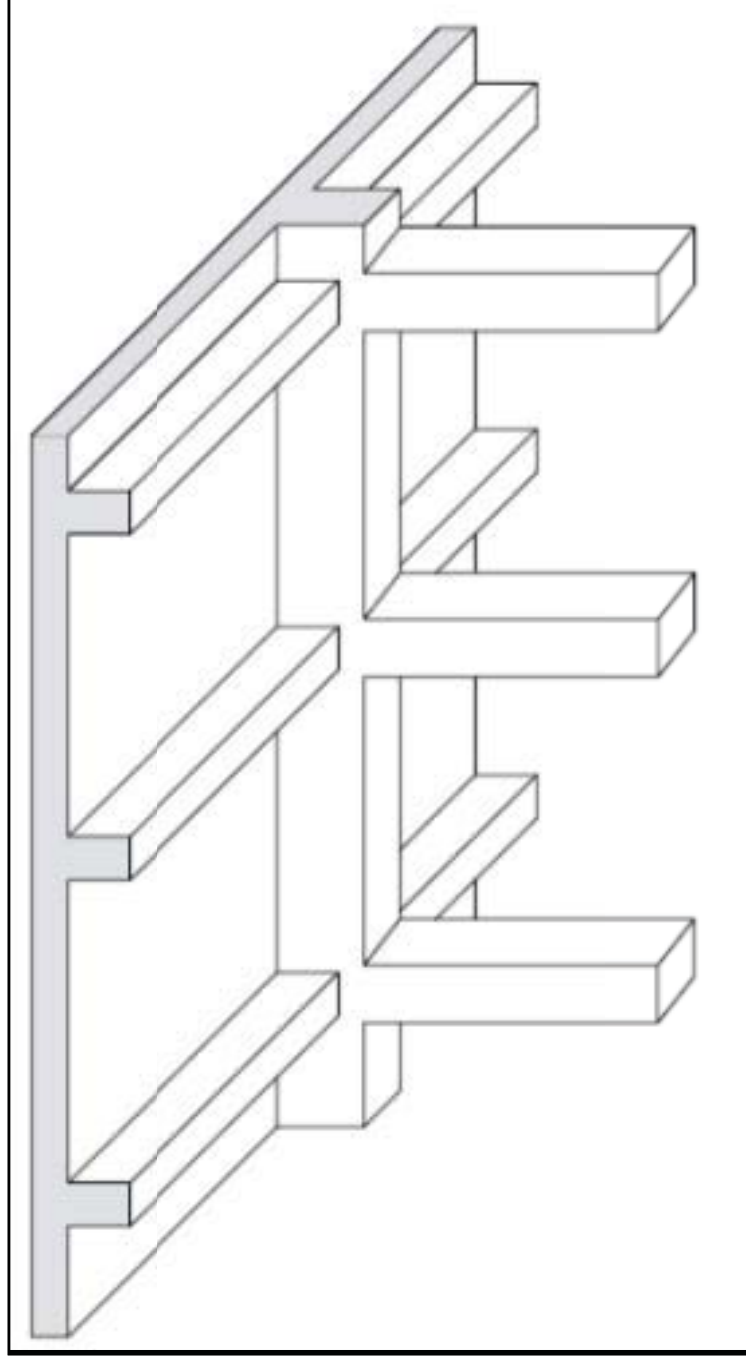
SFALSAMENTO DEI BLOCCHI IN LATERIZIO COLLABORANTI







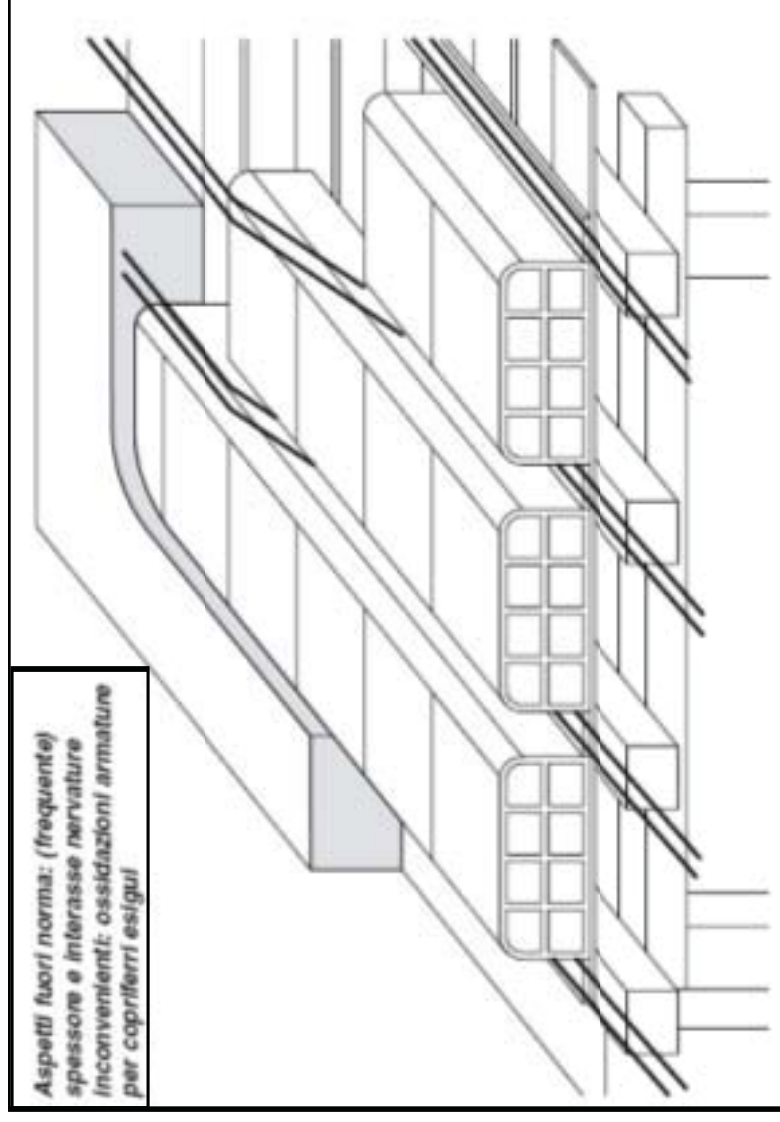
SOLAIO MONOLITICO IN C.A.



Aspetti fuori norma: spessori esigui, interassi tra le nervature elevati, problemi acustici e termici.

Inconvenienti: ossidazione delle armature per copriferri troppo ridotti

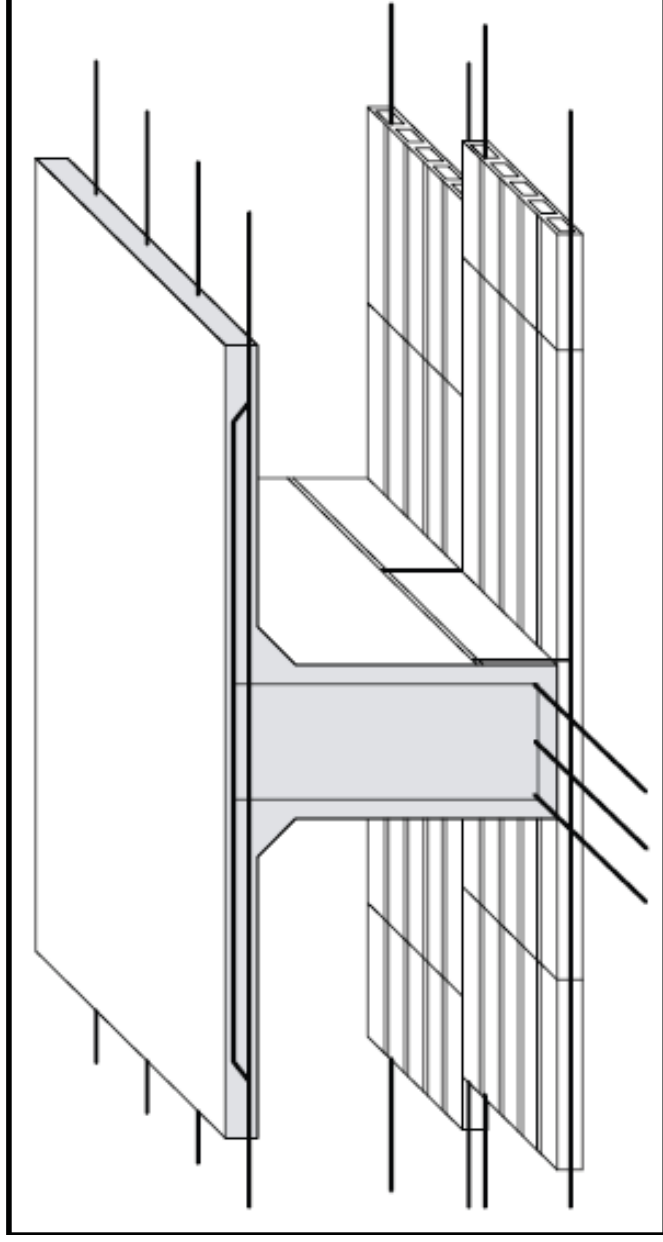
SOLAIO TIPO UNICA NERVATURE PARALLELE



Aspetti fuori norma: spessore e interasse nervature esiguo

Inconvenienti: ossidazione delle armature per copriferri troppo ridotti

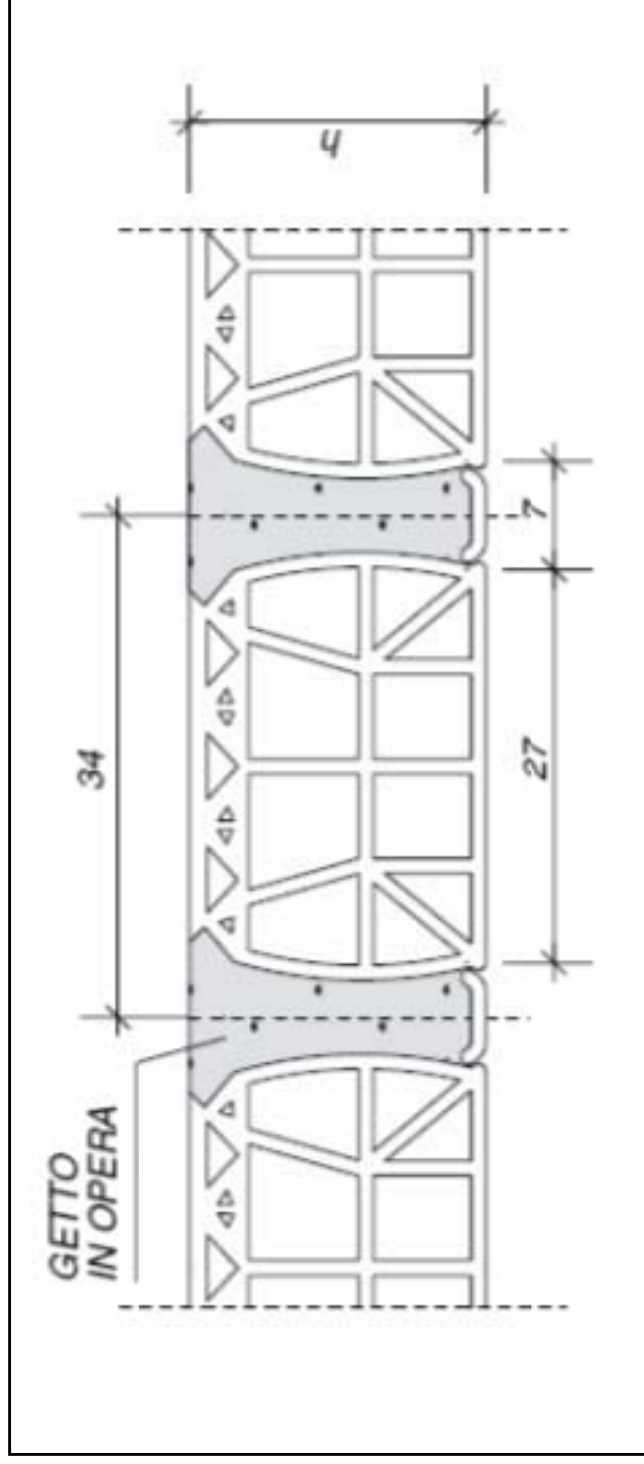
SOLAIO MONOLITICO IN C.A. CON CONTROSOFFITTO IN LATERIZIO



Aspetti fuori norma: spessori esigui, interassi tra le nervature elevati

Inconvenienti: ossidazione delle armature per copriferri troppo ridotti, sfondellamento della tavella inferiore

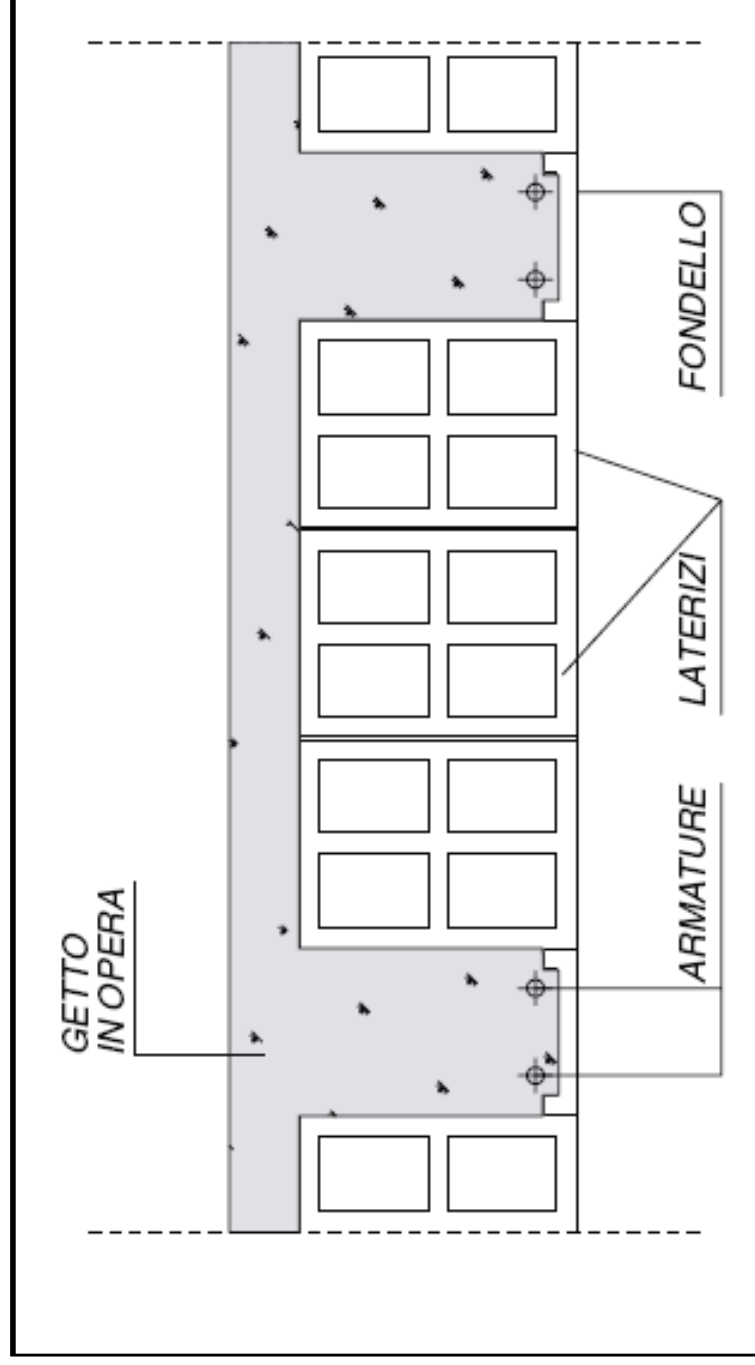
SOLAIO TIPO PERRETUNIC



Aspetti fuori norma: laterizi privi dei requisiti di legge, mancanza della soletta superiore, spessore esiguo delle nervature

Inconvenienti: sfondellamento, rottura per punzonamento/flessione

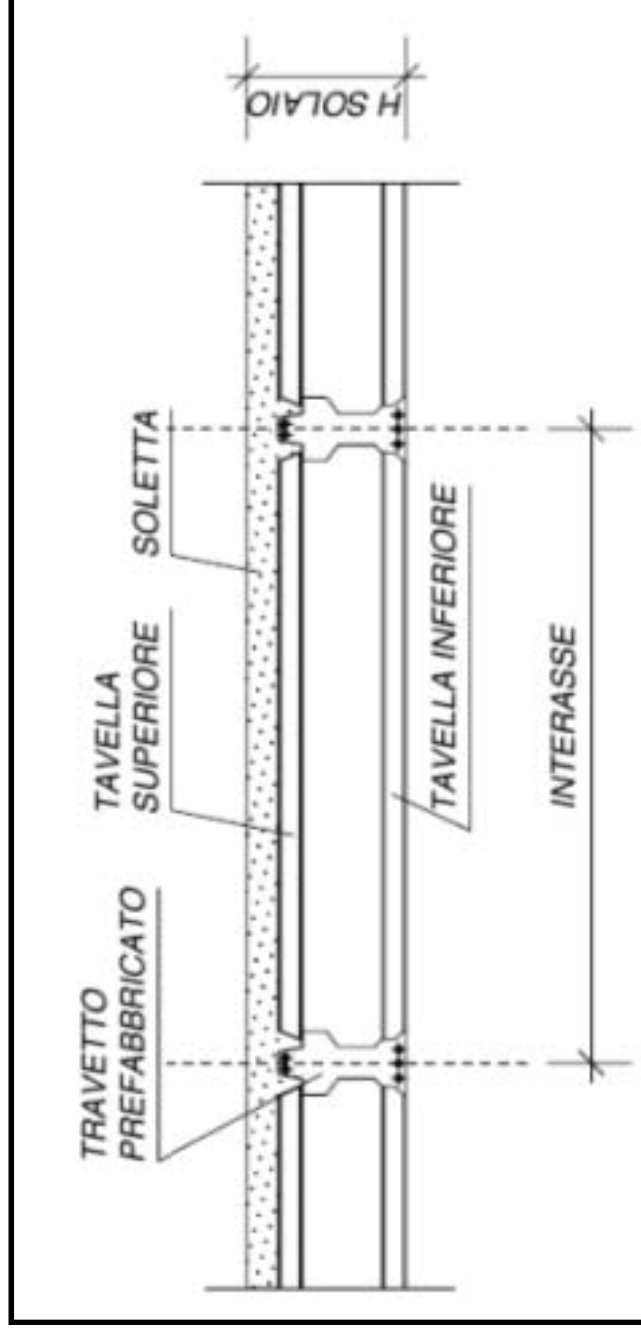
SOLAIO MONOLITICO IN C.A. CON CONTROSOFFITTO IN LATERIZIO



Aspetti fuori norma: problemi per lo spessore e l'interasse delle nervature

Inconvenienti: distacco forato centrale/ossidazioni armature per copriferri esigui

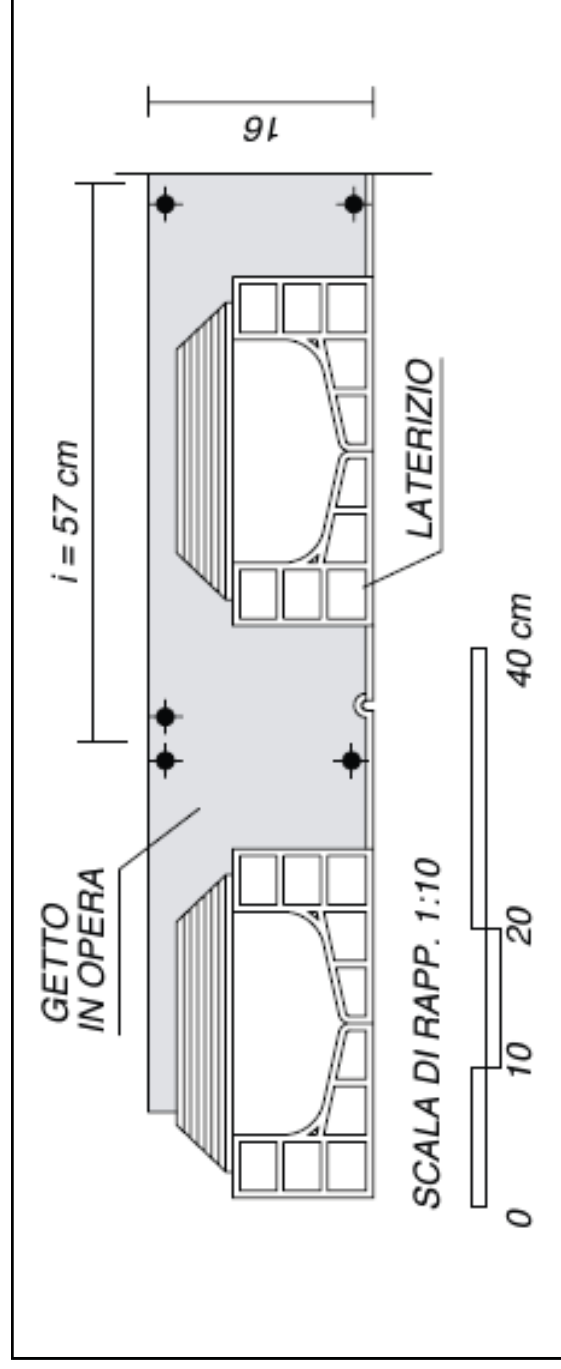
SOLAIO TIPO VARESE



Aspetti fuori norma: tutti!

Inconvenienti: elevata deformazione differita per rilassamento/sfondellamento della tavella inferiore

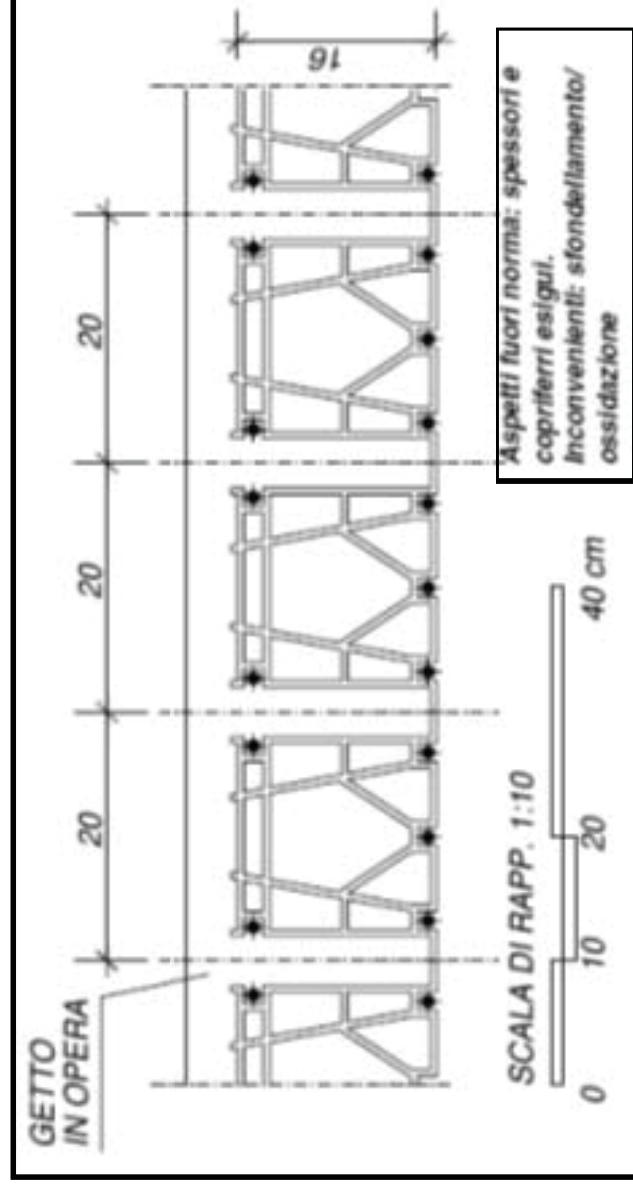
SOLAIO CAPPA



Aspetti fuori norma: soletta esigua e non armata

Inconvenienti: sfondellamento

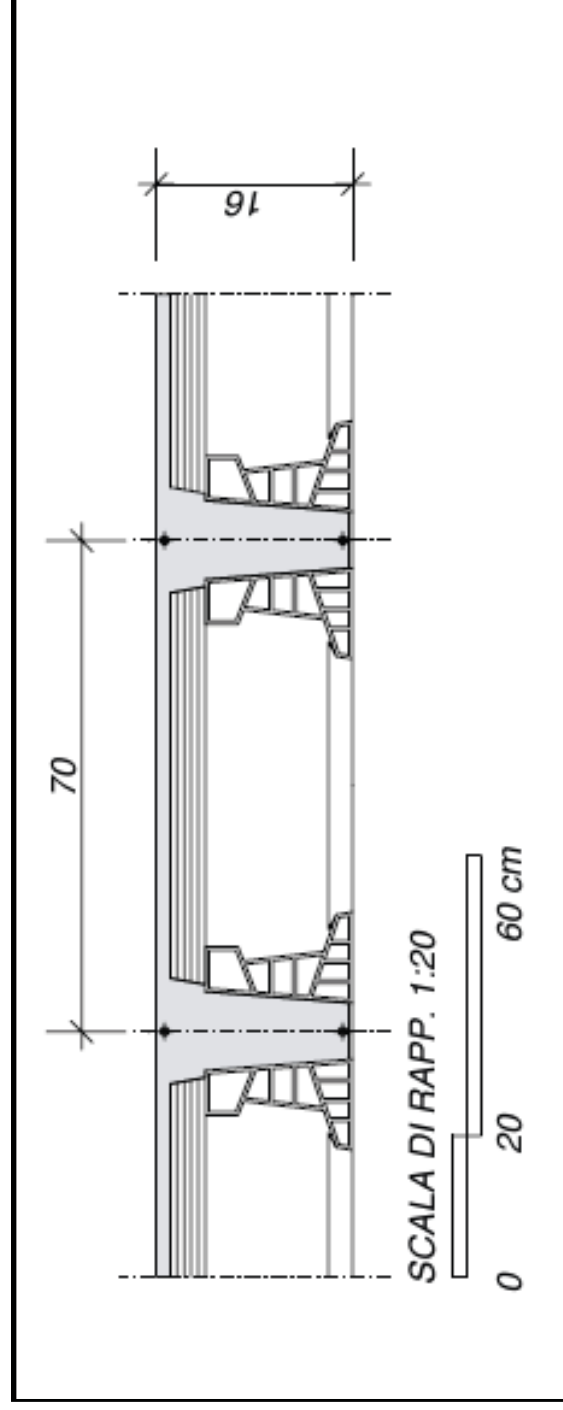
SOLAIO TIPI SAP



Aspetti fuori norma: spessori e copriferri esigui

Inconvenienti: ossidazione delle armature e sfondellamento

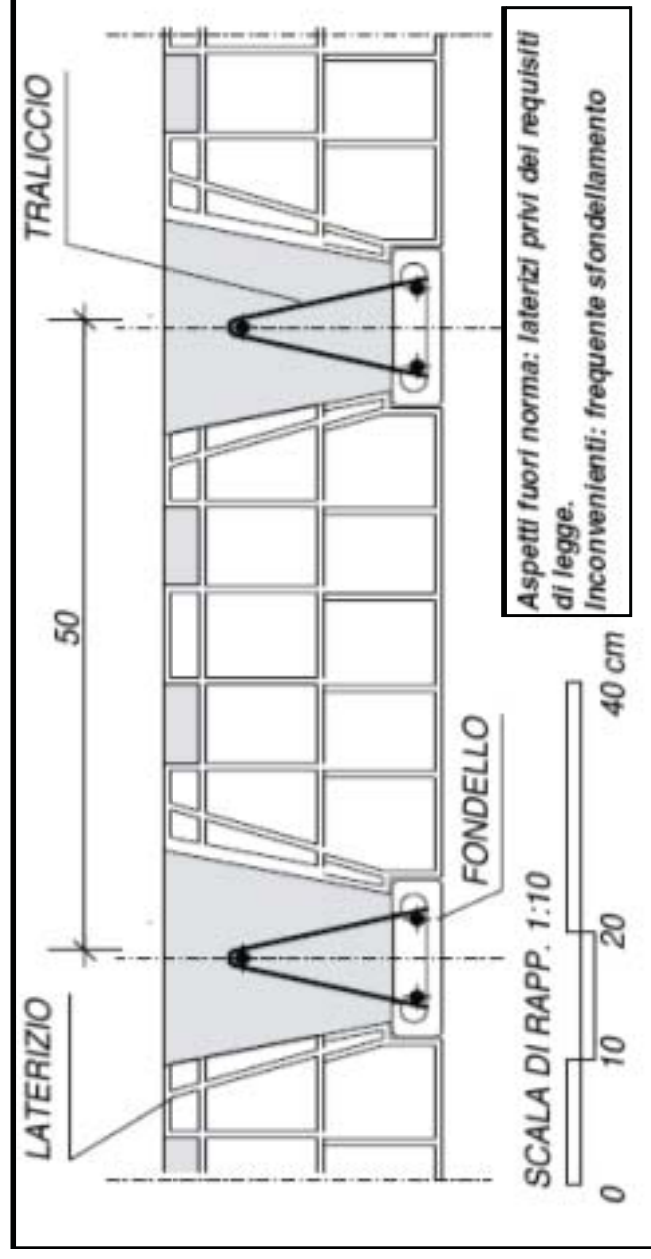
SOLAIO STIMP



Aspetti fuori norma: spessori esigui, copriferri inferiori quasi inesistenti

Inconvenienti: ossidazione e sfondellamento

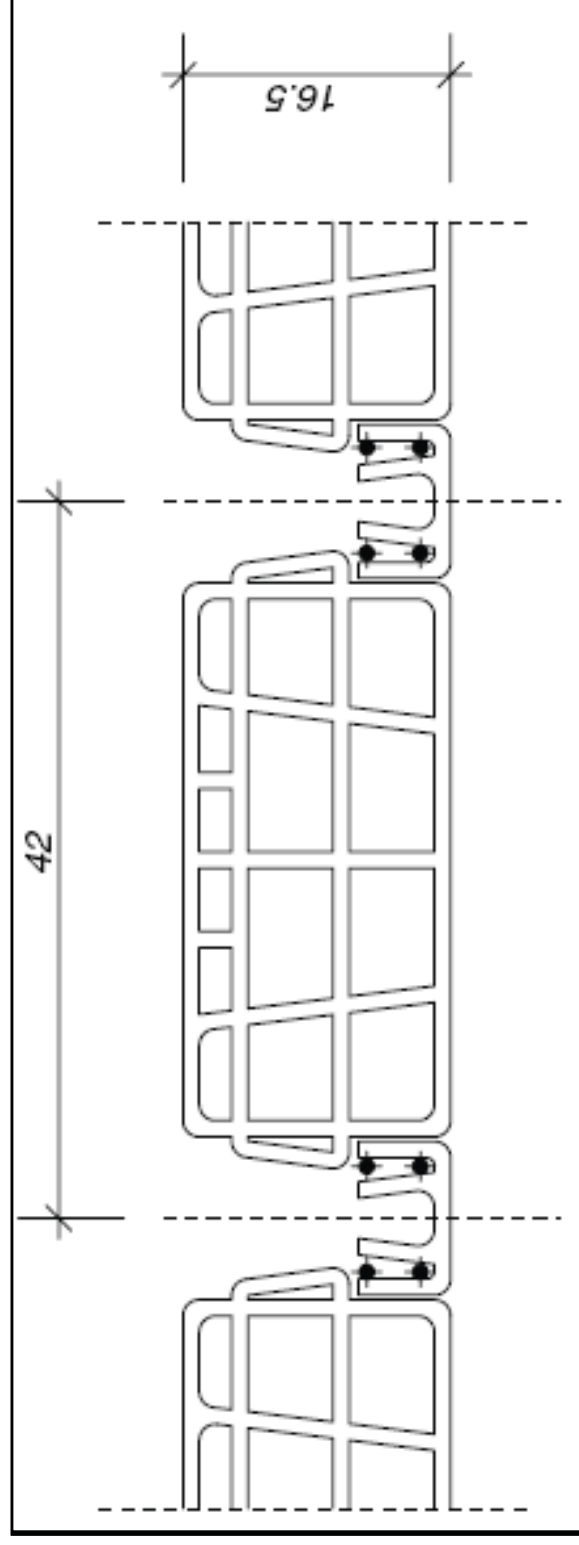
SOLAIO FERT



Aspetti fuori norma: laterizi privi dei requisiti di legge

Inconvenienti: frequente sfondellamento

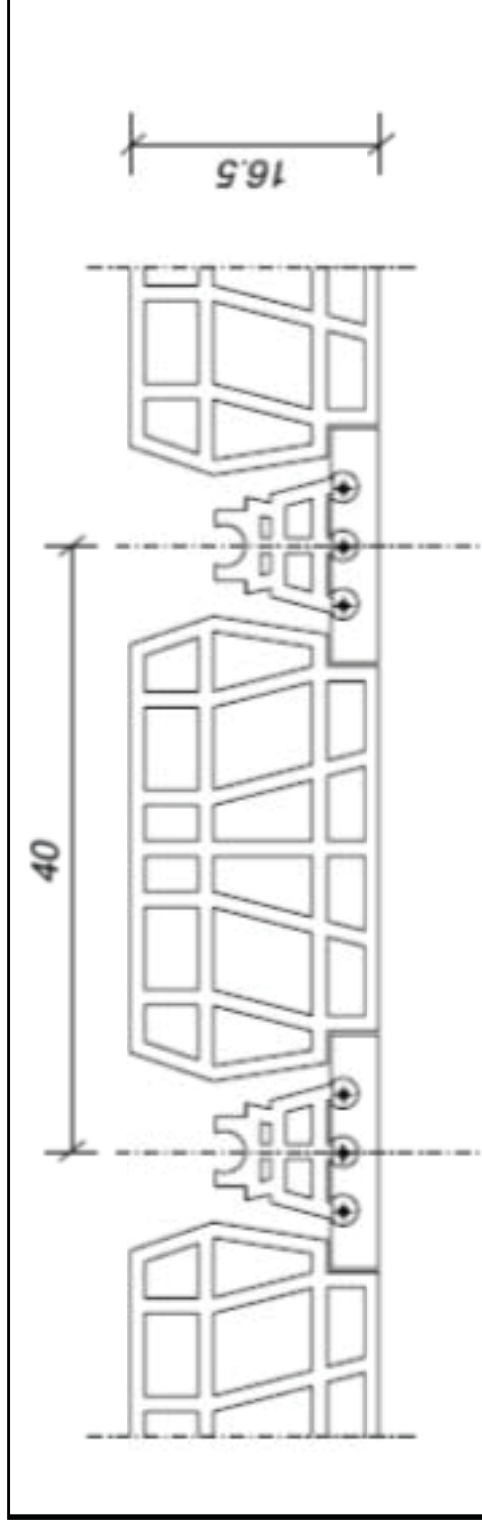
SOLAIO LISTEX



Aspetti fuori norma: scarso avvolgimento delle armature

Inconvenienti: sfondellamento

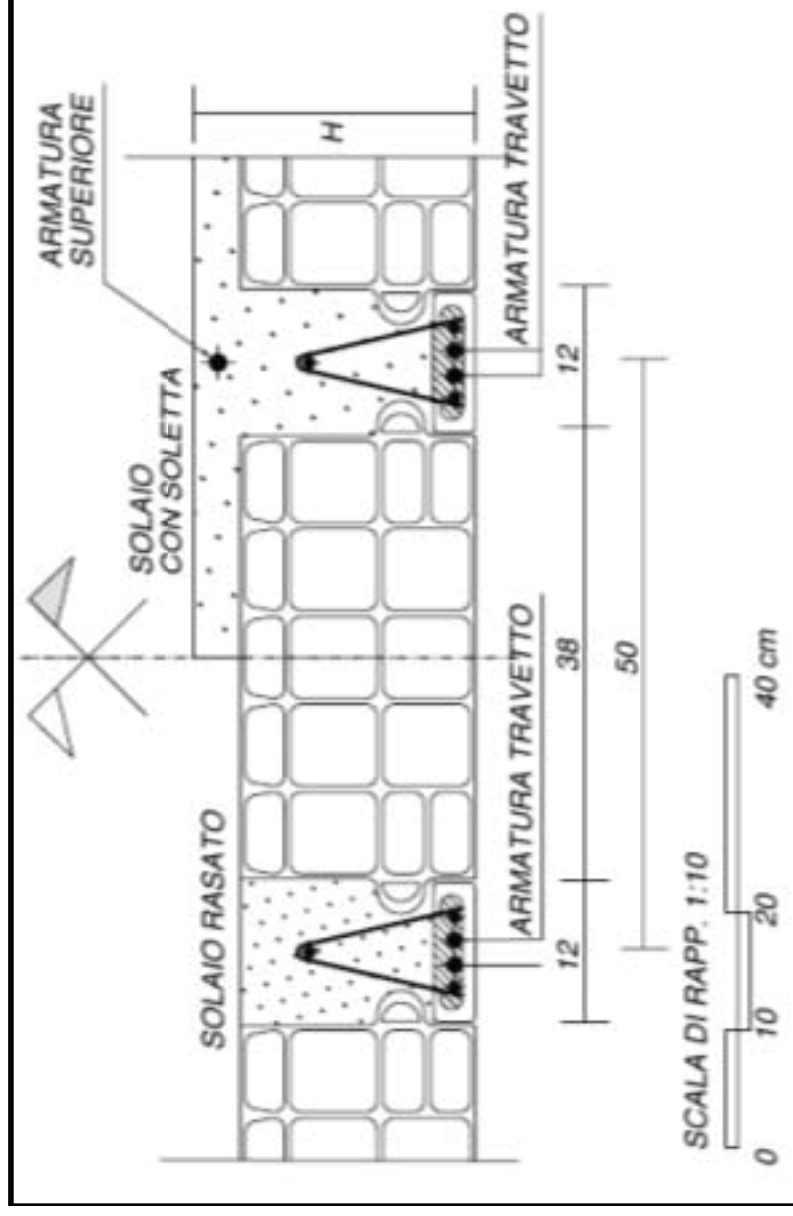
SOLAIO ESSEBI



Aspetti fuori norma: scarso avvolgimento delle armature

Inconvenienti: sfondellamento

SOLAIO CELERSAP



Aspetti fuori norma: laterizi privi dei requisiti di legge

Inconvenienti: frequente sfondellamento