

5. ELEMENTI STRUTTURALI IN C.A.

Parte dei testi e delle figure riportati nel seguito sono tratti dai seguenti testi:

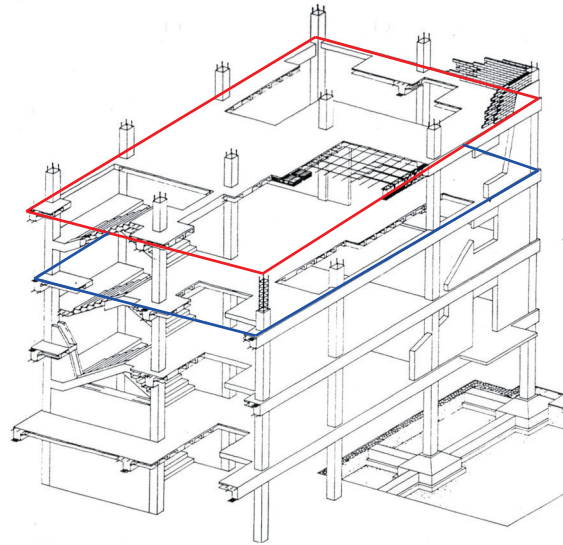
- “Tecniche di progettazione per strutture di edifici in c.a.” – A. Cinuzzi e S. Gaudiano – Casa Editrice Ambrosiana
- “Il manuale dei solai in laterizio” – V. Bacco e L. Ciancabilla –Edizioni Laterconsult
- “Catalogo generale della ditta Giuliane Solai” - Giuliane Solai spa, via della Fornace n.16, Mortesins di Ruda (UD) – www.giulianesolai.com
- “Il calcolo del cemento armato” – R. Calzona e C.Cestelli Guidi – Heopli

5.1. I Solai

Il solaio è l'elemento strutturale che costituisce la parte portante degli impalcati di piano e di copertura (piana o inclinata).

I solai possono essere realizzati con diverse tipologie costruttive:

- Solai in legno
- Impalcati in acciaio o misti acciaio/calcestruzzo
- Solai in latero-cemento
- Solai in pannelli prefabbricati
- Solai in elementi prefabbricati
- Impalcati in soletta piena in c.a.



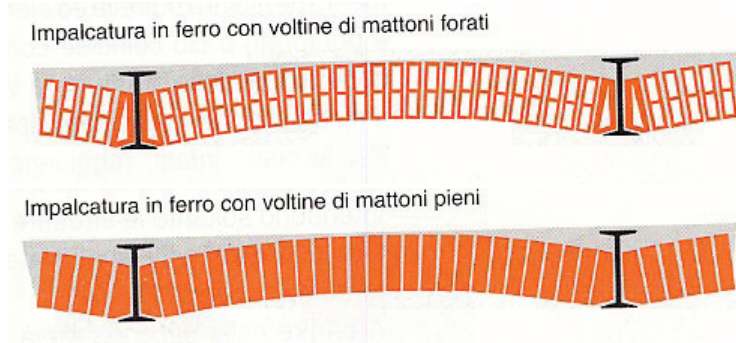
La **funzione principale** dei solai è quella di sorreggere i carichi permanenti (propri e portati) e quelli variabili derivanti dall'utilizzo del generico piano dell'edificio, di trasferirli alle strutture portanti, quali travi, pareti, pilastri e successivamente al terreno tramite le fondazioni.

Oltre a ciò devono soddisfare i seguenti requisiti:

- resistenza;
- limitata deformabilità e flessibilità;
- capacità di compartimentazione ai fini della progettazione antincendio (se richiesto);
- buone proprietà di isolamento termica e acustica;
- superficie all'intradosso piana e possibilmente omogenea;
- spessore e peso ridotto;
- rapida realizzazione;
- costi contenuti.

5.1.1. Evoluzione storica

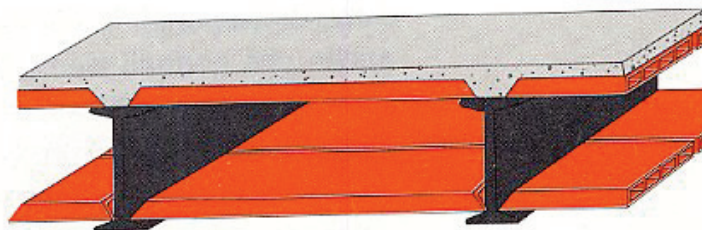
- Solaio in legno:
travi in legno massiccio appoggiate alle murature con tavolato superiore portante e tavolato o listelli inferiori per l'aggrappo dell'intonaco;
- Solaio struttura metallica;
- Solaio a volte in muratura;
- Solaio con "putrelle metalliche" e voltine di mattoni pieni o forati



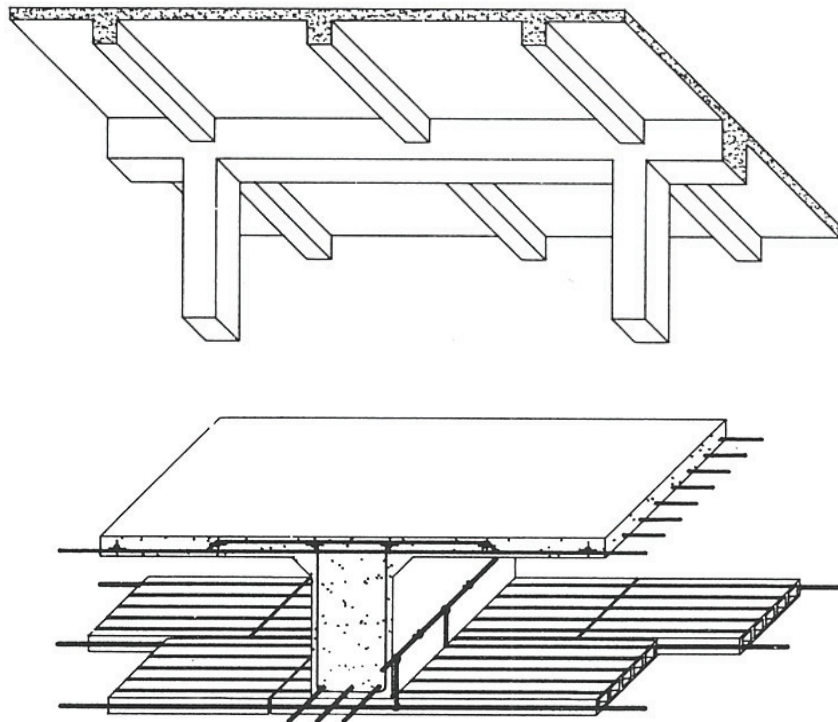
- Solaio chiamato "volterrane" con putrelle metalliche ed elementi forati ad arco con intradosso piano



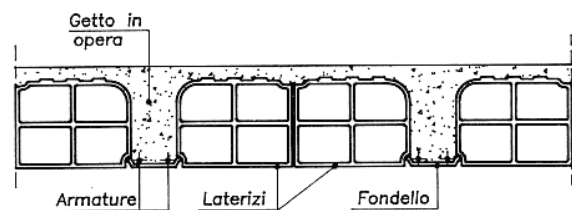
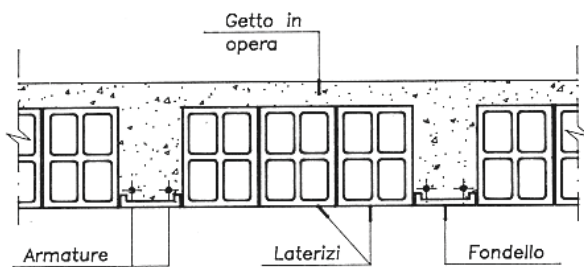
- Solaio con travi metalliche e tavelle all'intradosso e all'estradosso



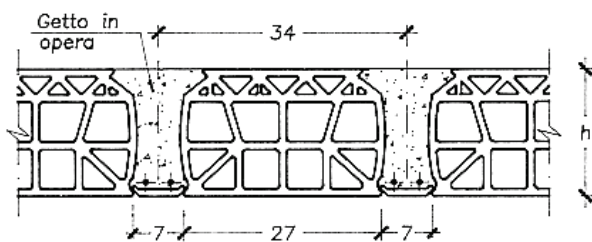
- Solaio monolitico nervato in c.a., a simulare le travi principali, quelle secondarie ed il tavolato di un solaio in legno



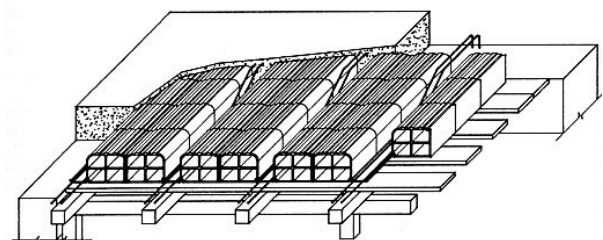
- Solaio in latero-cemento gettato in opera, con nervature ed elementi di alleggerimento



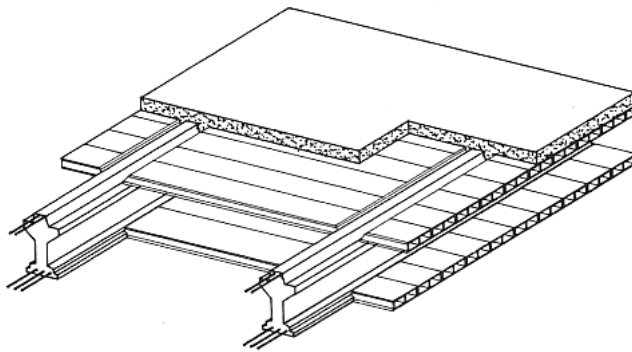
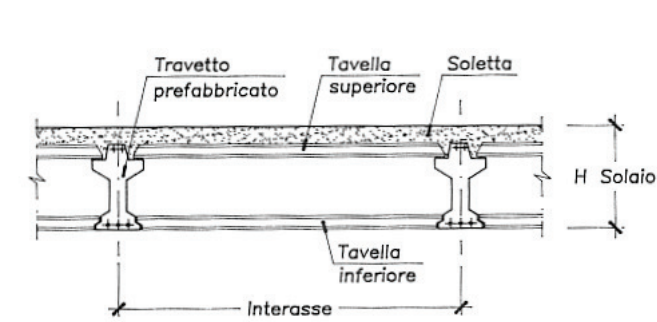
- Solaio "tipo Unic" -



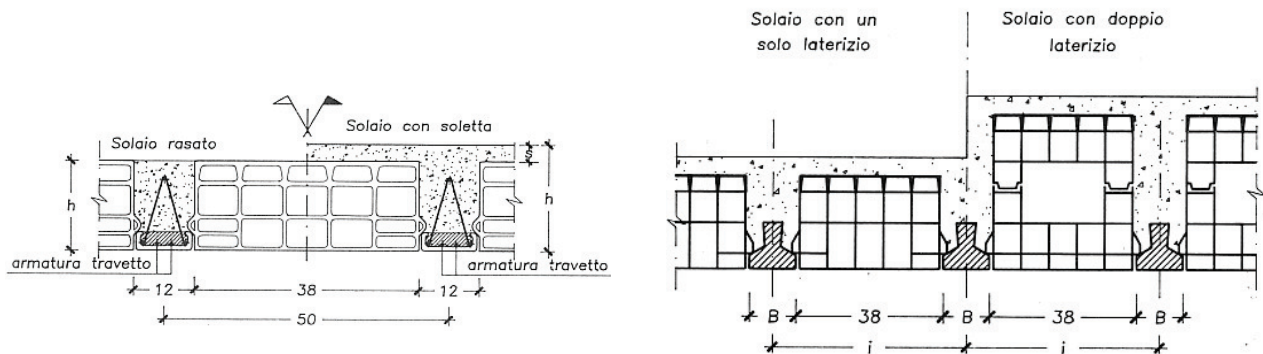
- Solaio "tipo Perretunic" -



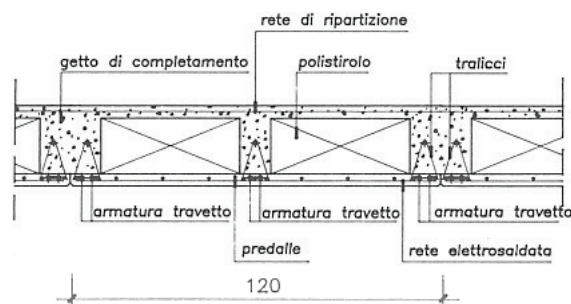
- Solaio “tipo Varese”, con travi in c.a. prefabbricate e tavelle superiori ed inferiori



- Solaio con travetti in latero-cemento prefabbricati, oppure con travetti in cemento armato precompresso ed elementi di alleggerimento (pignatte) – **soluzione attuale**



- Solaio con lastre prefabbricate (predalles) ed elementi di alleggerimento – **soluzione attuale**



5.1.2. Classificazione

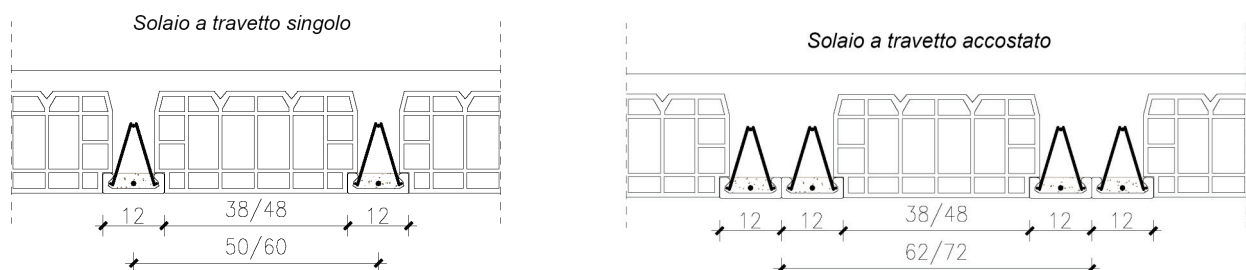
I solai si possono classificare sostanzialmente in:

- Solai in opera: impalcati realizzati interamente in opera attraverso l'assemblaggio / accostamento di blocchi di alleggerimento intervallati da spazi per l'alloggiamento dei tondini di armatura a costituire le nervature portanti, il tutto appoggiato su un cassero continuo esteso a tutta la superficie;
- Solai a travetti prefabbricati: impalcati costituiti dall'accostamento di elementi portanti lineari prefabbricati (travetti tralicciati o precompressi) ed elementi di alleggerimento in laterizio (pignatte) con getto di completamento in opera;
- Solai a lastre: sono costituiti da lastre prefabbricate in c.a. normale o precompresso di spesso minimo 4 cm con elementi di alleggerimento in laterizio o polistirolo, con getto di completamento in opera;
- Solai a pannelli: l'impalcato è composto da porzioni di solaio prefabbricato in stabilimento (pannelli) e montato in opera, con getto finale di completamento; i pannelli possono essere il latero-cemento o in cemento armato precompresso.

5.1.3. Tipologie attuali

Solaio a travetti tralicciati

Il solaio è realizzato accostando i travetti tralicciati prefabbricati ad elementi di alleggerimento in laterizio (dette comunemente pignatte) realizzando così un impalcato con **nervature in c.a. unidirezionali**, rese solidali trasversalmente dalla cappa di completamento ed eventualmente da apposite nervature di ripartizione.



I travetti tralicciati possono essere disposti singolarmente od accostati a due a due. Gli elementi di alleggerimento, costituiti da blocchi in laterizio, sono di larghezza pari a 38cm o a 48cm. Gli interasse-travetti ottenibili, in funzione della larghezza dell'alleggerimento e dell'abbinamento o meno dei travetti, sono riportati nelle due figure.

Pregi:

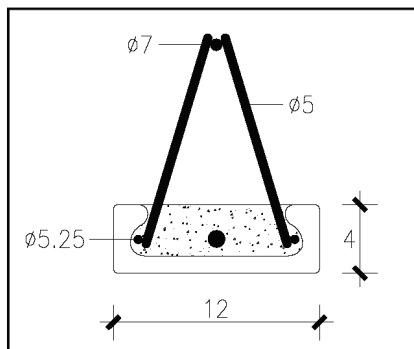
- grande maneggevolezza, leggerezza;
- estrema flessibilità compositiva per coprire superficie in pianta di forma variabile sia nelle nuove costruzioni sia nelle ristrutturazioni;
- intradosso solaio realizzato tutto in laterizio, perfettamente intonacabile;
- facile realizzazione di fasce piene, nervature trasversali, fori impianti

Difetti:

- ridotta autoportanza;
- luce solaio tipico dell'edilizia residenziale

Il travetto

La struttura del travetto tralicciato è costituita da un fondello in laterizio, avente base di 12cm, altezza di 4cm e spessore di 1cm, riempito con calcestruzzo avente una resistenza caratteristica R_{ck} superiore a 30MPa. Nel fondello viene posizionata l'armatura: quella di base è costituita da un **traliccio elettrosaldato** di altezza pari a 12.5cm, costituito da 2 ϕ 5.25 inferiori, da 1 ϕ 7 superiore e da due greche continue ϕ 5 poste lateralmente; esso garantisce una perfetta continuità tra travetto tralicciato e getto integrativo.



Armature dei travetti a magazzino			
	Armatura traliccio	Armatura aggiuntiva	Area armatura complessiva (mm ² /travetto)
T0	2 ϕ 5,25	-	43
T1	2 ϕ 5,25	1 ϕ 10	122
T3	2 ϕ 5,25	1 ϕ 12	156
T5	2 ϕ 5,25	2 ϕ 12	269
T7	2 ϕ 5,25	2 ϕ 14	351

Travetto "Trigon" (Giuliane Solai)

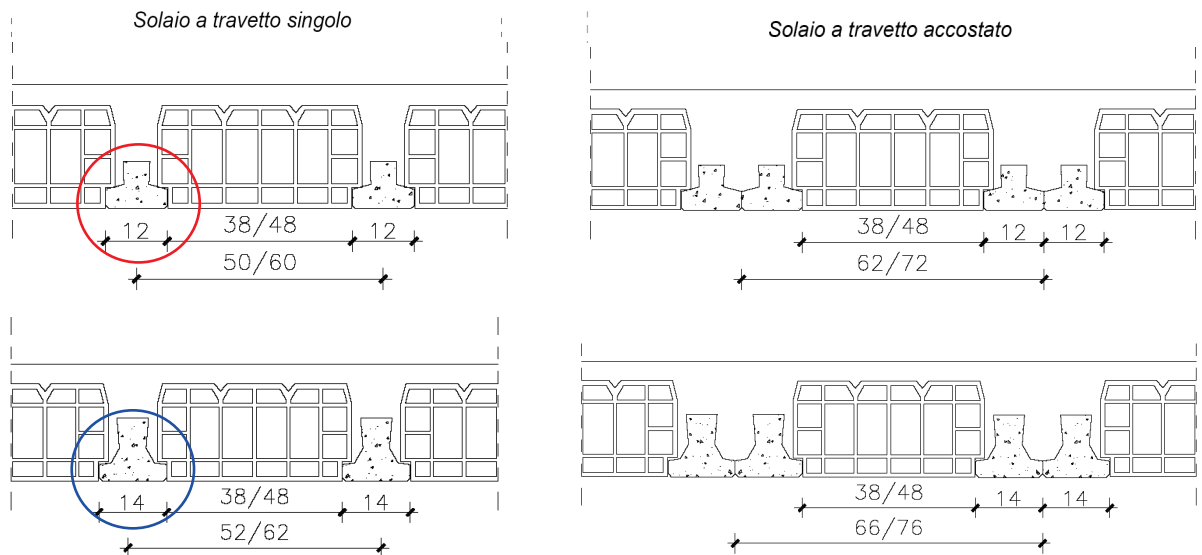
E' prevista inoltre la possibilità di inserire delle **barre supplementari**, in acciaio B450C, sopra il fondello in laterizio, annegandole nel getto in opera di calcestruzzo.



Il travetto tralicciato è un prodotto a magazzino e per le varie tipologie di armature vengono proposte le lunghezze di produzione riportate in apposite tabelle.

Solaio a travetti precompressi

Il solaio è realizzato accostando i **travetti precompressi** ad **elementi di alleggerimento in laterizio** (dette comunemente pignatte) realizzando così un impalcato con **nervature in c.a. unidirezionali**, rese solidali trasversalmente dalla cappa di completamento ed eventualmente da apposite nervature di ripartizione.



I travetti tralicciati possono essere disposti singolarmente od accostati a due a due. Gli elementi di alleggerimento, costituiti da blocchi in laterizio, sono di larghezza pari a 38cm o a 48cm. Gli interasse-travetti ottenibili, in funzione della larghezza dell'alleggerimento e dell'abbinamento o meno dei travetti, sono riportati nelle due figure.

Pregi:

- possibilità di coprire superficie in pianta di forma variabile e articolata;
- i travetti possono essere di lunghezza variabile a piacere;
- la superficie scabra del travetto precompresso garantisce un'efficace legatura diffusa tra la parte prefabbricata e quella gettata in opera, assorbendo gli sforzi di scorrimento in ogni sezione;
- facile realizzazione di fasce piene, nervature trasversali, fori impianti

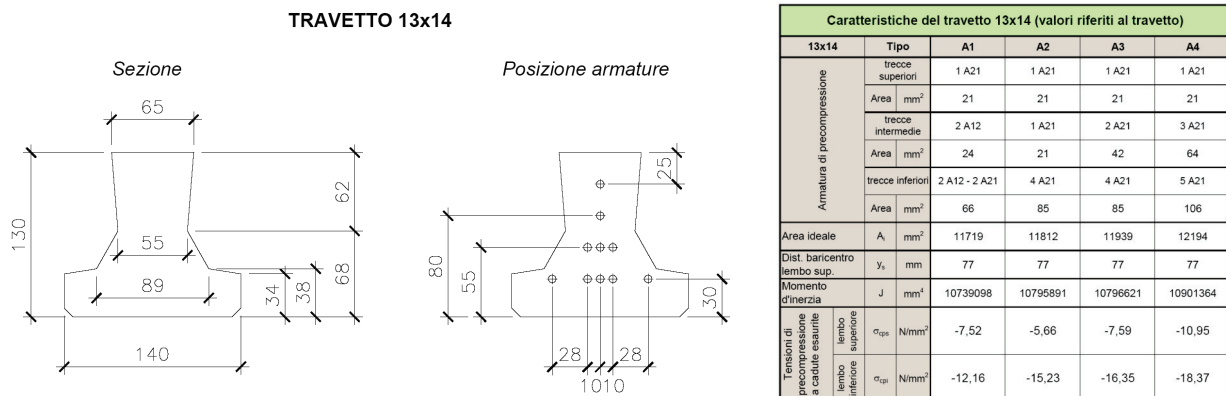
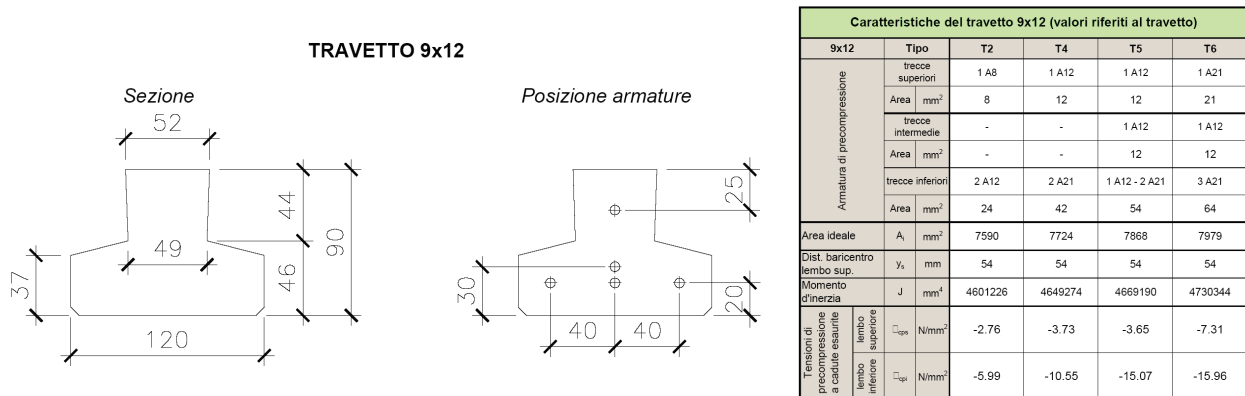
Difetti:

- ridotta autoportanza;
- intradosso solaio con superfici disomogenee.

Il travetto

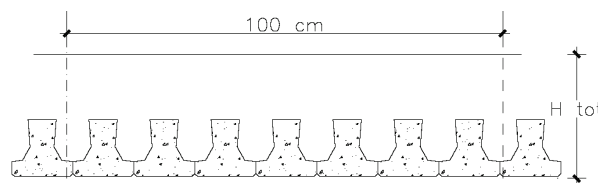
La struttura del travetto precompresso è costituita da una sezione a T rovescia in calcestruzzo vibrofinito ad alta resistenza ($R_{ck} \geq 55\text{MPa}$), nella quale sono annegate le **armature da precompressione in acciaio ad alto limite di snervamento** poste in predefinite posizioni. Le caratteristiche fisico-meccaniche del conglomerato (resistenza al taglio trefoli e resistenza caratteristica a 28 giorni) vengono controllate statisticamente nel Laboratorio presente nello stabilimento.

Sono previste due misure di travetto:



Il **travetto precompresso 9x12** è un **prodotto a magazzino** e per le varie tipologie di armature vengono proposte le lunghezze di produzione riportate in apposite tabelle.

Nel caso di carichi elevati si può accostare più travetti fino alla soluzione limite di un **“solettone di travetti precompressi”** senza gli elementi di alleggerimento (anche per piccoli ponti carrabili)

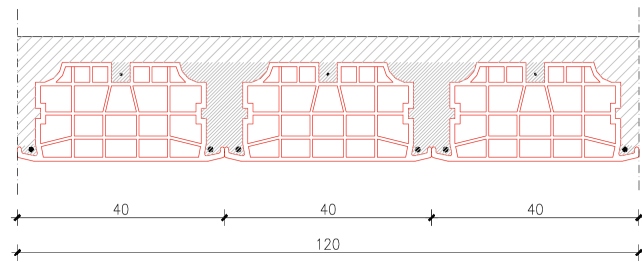


Solaio a pannelli in laterocemento

Il solaio è realizzato assemblando in opera i pannelli prefabbricati in stabilimento.

I pannelli sono costituiti da 3 file di blocchi in laterizio, fra le quali vengono gettate due nervature in calcestruzzo avente una resistenza caratteristica R_{ck} superiore a 30MPa; nelle due nervature centrali pre-gettate e nelle scanalature laterali del pannello, trova alloggiamento l'armatura di progetto; essa sporge dal pannello per una lunghezza tale da garantire, in abbinamento all'armatura aggiuntiva opportunamente disposta nelle nervature gettate in cantiere, un adeguato ancoraggio.

Allo scopo di rendere solidali i vari pannelli, è necessario prevedere una soletta superiore di calcestruzzo gettato in opera di spessore non inferiore a 4cm.



Pregi:

- estrema rapidità di posa in opera;
- la prefabbricazione su cassero metallico, assicura la perfetta planarità dell'intradosso;
- intradosso solaio tutto in laterizio, perfettamente intonacabile;
- è possibile abbinare i travetti tralicciati per ricoprire le diverse forme;

Difetti:

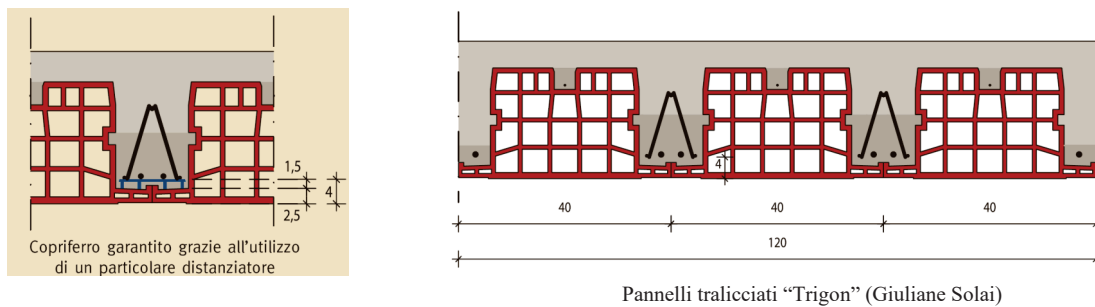
- modesta autoportanza;
- difficoltà di realizzare fasce piene, nervature di ripartizione;
- tipiche problematiche di connessione fra un elemento prefabbricato e parzialmente gettato con la struttura gettata in opera;

Solaio a pannelli tralicciati

Il solaio è realizzato assemblando in opera i pannelli tralicciati pre-gettati in stabilimento.

È un prodotto innovativo che unisce i benefici della prefabbricazione alla presenza del traliccio, garantendo la connessione fra i due getti (quello in stabilimento e quello successivo in opera)

I pannelli sono costituiti da 3 file di blocchi in laterizio, fra le quali vengono gettate due nervature in calcestruzzo avente una resistenza caratteristica R_{ck} superiore a 30MPa; il pannello è irrigidito da due tralicci elettrosaldati posti nelle nervature centrali che garantiscono una perfetta continuità tra getto prefabbricato e getto integrativo.



Pregi:

- estrema rapidità di posa in opera;
- la prefabbricazione su cassero metallico, assicura la perfetta planarità dell'intradosso;
- intradosso solaio tutto in laterizio, perfettamente intonacabile;
- è possibile abbinare i travetti tralicciati per ricoprire le diverse forme richieste;
- discreta auto portanza: utilizzo senza puntelli sino a luci di 3.00 m
- la presenza di nervature $b_w=12\text{cm}$ ad interasse 40 cm, aumenta del 40% la resistenza a taglio rispetto ad un pannello tradizionale;
- doppia cartella in laterizio a protezione delle armature.

Difetti:

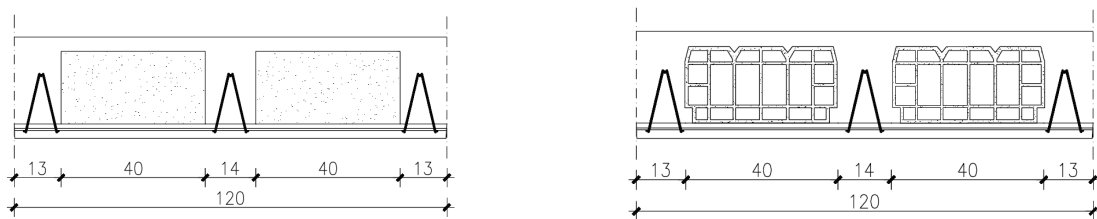
- difficoltà di realizzare fasce piene, nervature di ripartizione;

Solaio a lastre tralicciate

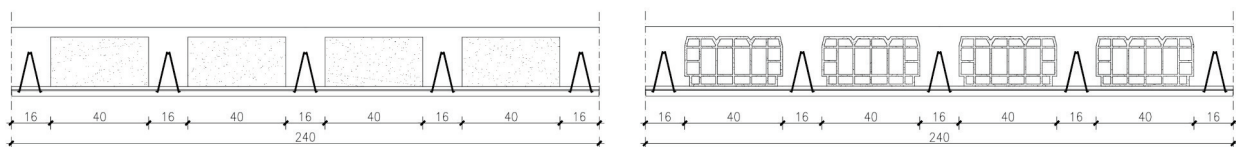
Il solaio è realizzato assemblando in opera lastre prefabbricate con soletta inferiore in c.a., comunemente dette “**predalles**”.

La struttura è costituita da una lastra in calcestruzzo, di spessore da 4 a 7cm, avente una resistenza caratteristica R_{ck} superiore a 30MPa. La lastra è irrigidita da tralici elettrosaldati generalmente di altezza pari a 12.5cm, costituiti da 2 ϕ 5.25 inferiori, da 1 ϕ 7 superiore e da due greche continue ϕ 5 poste lateralmente; essi inoltre garantiscono una perfetta continuità tra getto prefabbricato e getto integrativo. Il manufatto è completato da elementi di alleggerimento costituiti da **blocchi in polistirolo** (molto leggero e facilmente adattabile a richieste di geometrie particolari), disposti parallelamente alle nervature; in alternativa, possono essere utilizzate “**interposte**” in laterizio.

Lastre con interasse 120 cm



Lastre con interasse 240 cm



Pregi:

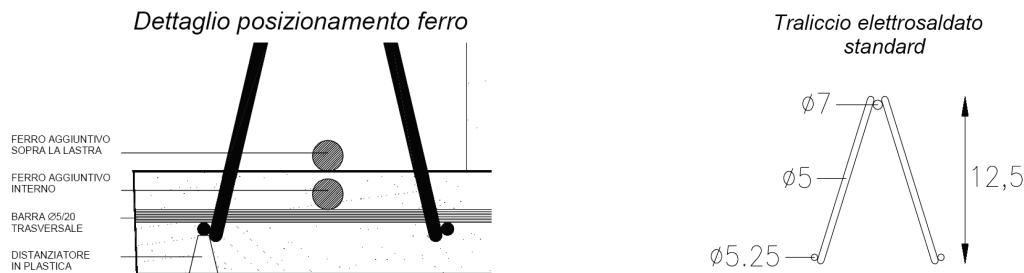
- estrema rapidità di posa ed ampio campo di utilizzo (luci fino a 12m circa);
- possibilità di coprire superfici in pianta di forma variabile e articolata, in quanto ciascuna lastra viene prodotta su ordinazione, sagomata e forata secondo le esigenze del progetto;
- l'intradosso del solaio risulta essere perfettamente liscio: tale superficie può essere lasciata a vista od eventualmente finita con una sola mano di pittura;
- facile realizzazione di fasce piene, nervature trasversali, fori impianti con la semplice eliminazione degli elementi di alleggerimento;
- elevata sicurezza in fase di montaggio per gli operatori;
- buone caratteristiche di resistenza all'incendio.

Difetti:

- ridotta autoportanza;

Nel caso specifico la ditta propone 10+1 tipi di lastre, aventi armature crescenti, nelle quali è previsto il posizionamento di armatura aggiuntiva interna alla lastra stessa, in corrispondenza ai singoli tralicci; tali armature vengono poste direttamente su barrette trasversali di diametro 5mm, poste a loro volta, trasversalmente al traliccio, sopra i correnti inferiori dello stesso; questa armatura ortogonale conferisce un'adeguata rigidità al manufatto ed esclude la possibilità di sfilamento del traliccio dalla lastra in calcestruzzo, nelle fasi di movimentazione e posa in opera.

Lastra modulo 120 cm									Lastra modulo 240 cm							
	Armatura traliccio		Armatura aggiuntiva						Armatura traliccio		Armatura aggiuntiva					
	n	d mm	n	d mm	n	d mm	Area totale		n	d mm	n	d mm	n	d mm	Area totale	
							mm ² /i	mm ² /m							mm ² /i	mm ² /m
T0	6	5					118	98	10	5	10	5			196	82
T1	6	5	4	8			319	266	10	5	2	8	3	10	532	222
T2	6	5	4	10			432	360	10	5	5	8	3	10	683	285
T3	6	5	3	12	1	8	507	423	10	5	8	10			825	344
T4	6	5	4	12			570	475	10	5	3	10	5	12	997	416
T5	6	5	1	12	3	14	693	577	10	5	8	12			1101	459
T6	6	5	3	14	1	16	781	651	10	5	5	14	3	12	1305	544
T7	6	5	1	14	3	16	875	729	10	5	8	14			1428	595
T8	6	5	6	14			1041	868	10	5	3	14	5	16	1663	693
T9	6	5	6	16			1324	1103	10	5	8	16	2	12	2031	846
T10	6	5	6	18			1645	1371	10	5	10	16			2207	920



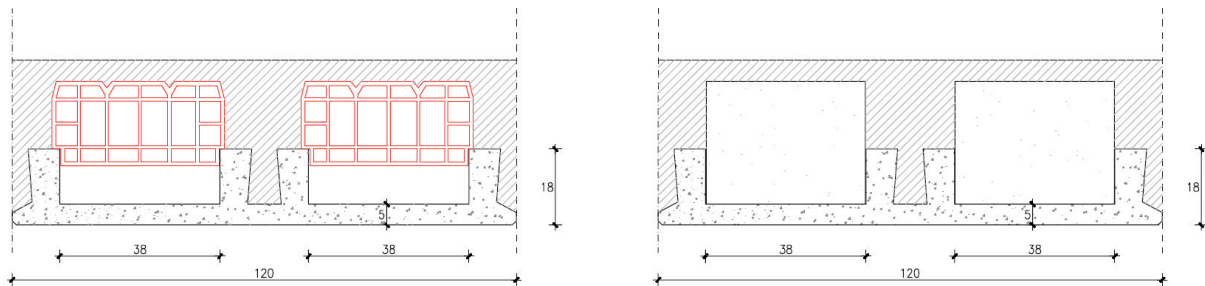
Per i diversi spessori della lastra (4cm, 5cm e 6cm) viene garantita una resistenza al fuoco R (criterio di capacità portante) rispettivamente di 60', 90' e 120'.

Per garantire la capacità di tenuta ai fumi (E) la norma prescrive la presenza di uno strato continuo ed uniforme di calcestruzzo armato di almeno 5cm, qualora il tempo di esposizione sia superiore a 60'. Il criterio di isolamento termico (I) è sempre verificato con questa tipologia di solaio.

Solaio a lastre precomprese

Il solaio è realizzato assemblando in opera lastre a nervature precomprese.

La struttura è costituita da una lastra nervata di altezza complessiva pari a 18cm in calcestruzzo vibrofinito, avente una resistenza caratteristica R_{ck} superiore a 55MPa; il manufatto è completato da elementi di alleggerimento, disposti parallelamente alle nervature, costituiti da **blocchi in polistirolo** (molto leggero e facilmente adattabile a richieste di geometrie particolari); in alternativa, possono essere utilizzate “**pignatte**” in laterizio eventualmente sovrapponibile per la realizzazione di solai di altezza elevata.



Oltre la serie standard (Normale) spesso è presente anche la serie antincendio che prevede uno spessore della soletta in c.a. inferiore maggiorato (6.5 cm al posto di 5.0 cm) per garantire un maggior ricoprimento delle armature.

Pregi:

- estrema rapidità di posa ed ampio campo di utilizzo (luci fino a 12m circa);
- consente di coprire luci notevoli e sopportare carichi elevati;
- in virtù della notevole rigidezza, è possibile ridurre gli spessori dell'impalcato;
- l'intradosso del solaio risulta essere perfettamente liscio: tale superficie può essere lasciata a vista o eventualmente finita con una sola mano di pittura;
- facile realizzazione di fasce piene, nervature trasversali, fori impianti con la semplice eliminazione degli elementi di alleggerimento;
- elevata sicurezza in fase di montaggio per gli operatori;
- buone caratteristiche di resistenza all'incendio;
- discreta auto portanza.

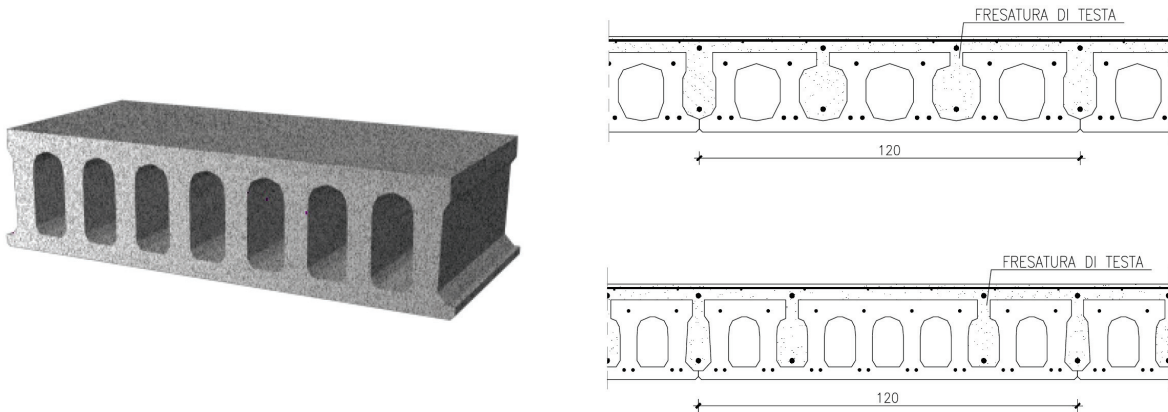
Difetti:

- connessione fra il getto in stabilimento e quello in opera affidata esclusivamente alla superficie di contatto delle nervature.

Solaio a pannelli Alveolari

Il solaio è realizzato accostando in opera i pannelli alveolari precompressi.

I pannelli sono costituiti da lastre in cemento armato precompresso vibrofinito, avente una resistenza caratteristica R_{ck} superiore a 55MPa, **alleggerite la apposti fori detti “alveoli”** che si sviluppano longitudinalmente lungo la lastra. La forma e le dimensioni degli alveoli variano in funzione dello spessore della lastra.



Pregi:

- estrema rapidità di posa ed ampio campo di utilizzo (luci superiori a 15m);
- consente di coprire luci notevoli e sopportare carichi estremamente elevati;
- in virtù della notevole rigidezza, è possibile ridurre gli spessori dell'impalcato;
- l'intradosso del solaio risulta essere perfettamente liscio: tale superficie può essere lasciata a vista od eventualmente finita con una sola mano di pittura;
- elevata sicurezza in fase di montaggio per gli operatori;
- ottime caratteristiche di resistenza all'incendio;
- completa auto portanza;
- in alcuni condizioni può non essere necessario il getto di completamento

Difetti:

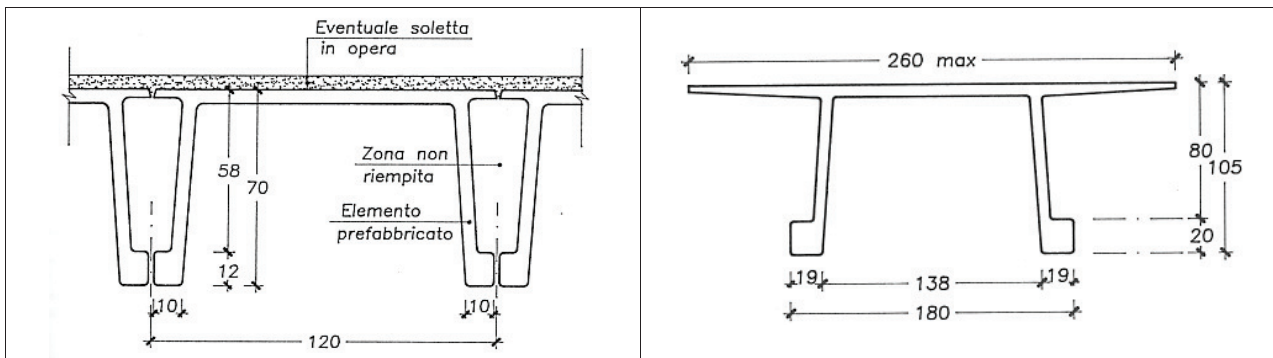
- difficoltà di realizzare fasce piene, nervature di ripartizione;
- la resistenza a taglio viene affidata completamente alla resistenza a trazione del cls presente all'interno degli alveoli in prossimità degli appoggi.

Solaio ad elementi prefabbricati in c.a.p.

In presenza di grandi luci (edifici industriali o commerciali) vengono utilizzati solai con elementi prefabbricati in cemento armato precompresso.

Questi elementi vengono spesso denominati “tegoli” o “copponi” in virtù della loro forma a “ π ”

A seconda dell'utilizzo dell'estradosso, può essere presente o meno un getto di completamento eseguito in opera.



Solette piene ad armatura lenta o precompressa

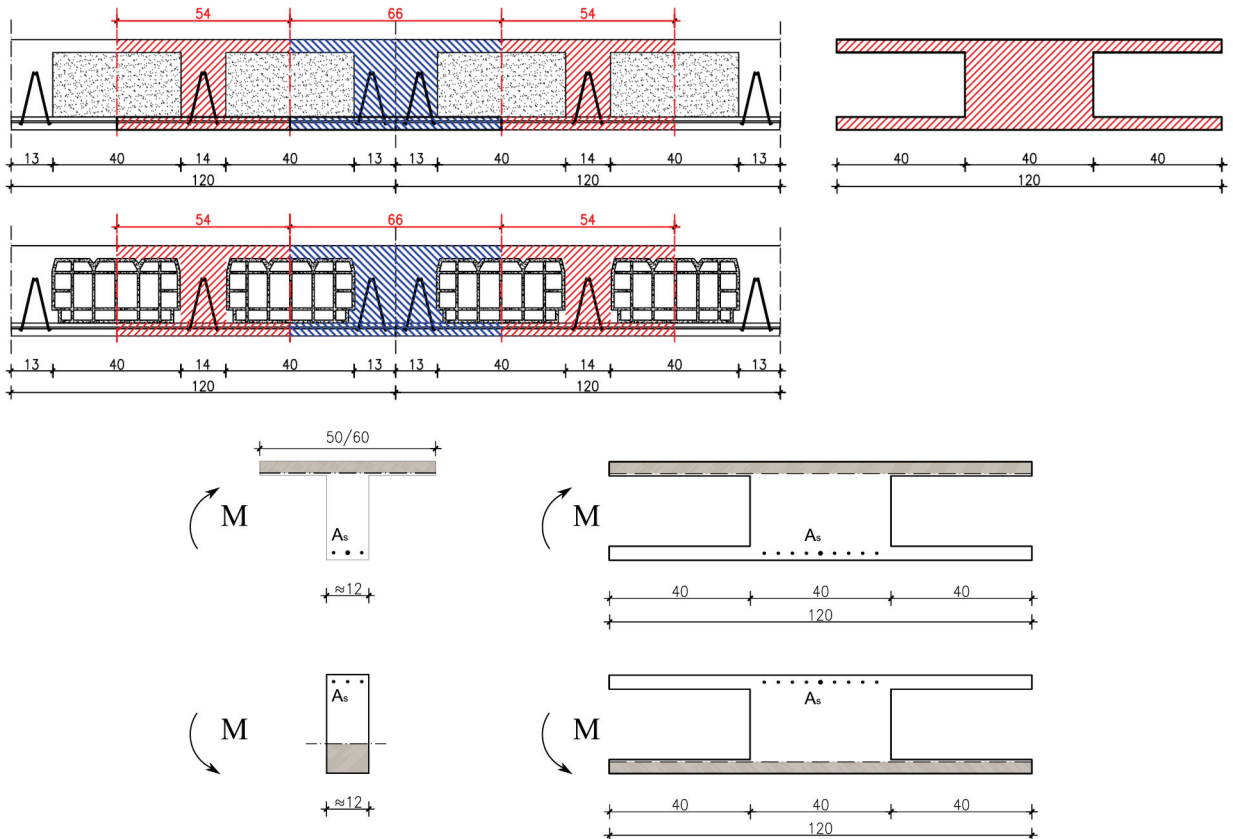
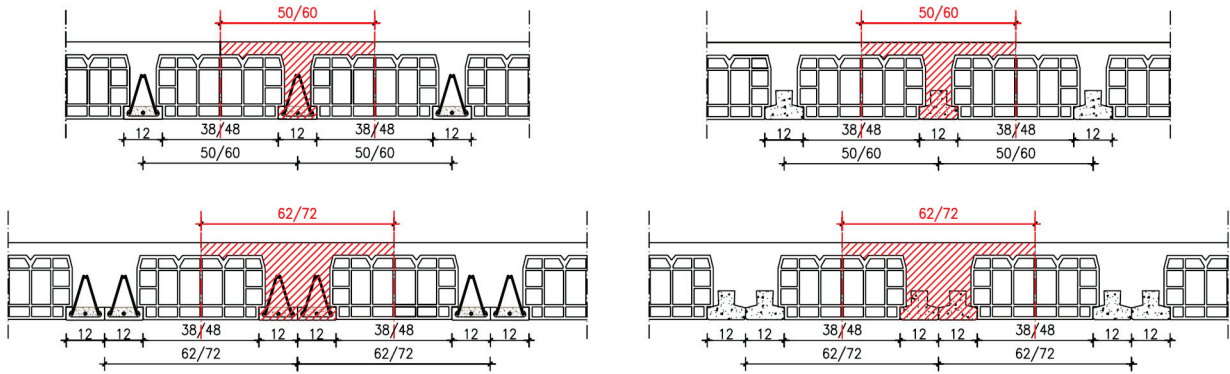
In particolari situazioni, si può adottare un impalcato realizzato in soletta piena in c.a.: una piastra bidimensionale disposta orizzontalmente che è in grado di “portare” un carico distribuito agente normalmente.

Questa soluzione è sempre più frequente nell'edilizia residenziale in quanto permette di ridurre notevolmente gli spessori rispetto al tradizionale solaio a parità di resistenza e deformabilità.

Nei casi di notevole impegno statico (carichi elevati e/o luci elevate) si può far ricorso alla precompressione con la tecnologia dei cavi post tesi; questo permette di contenere o escludere le fessurazioni, aumentare la rigidezza della piastra contenendo le deformazioni flessionali.

5.1.4. La sezione resistente

Il solaio unidirezionale, costituito da travetti e blocchi di alleggerimento, da lastre “predalles” o pannelli prefabbricati, può essere visto come tante travi accostate una alle altre a coprire l’intera superficie dell’impalcato; la resistenza principale (portanza) del solaio si ha nella direzione dei travetti o delle nervature, pertanto si può considerare quale sezione resistente ai fini del calcolo una trave a T di sezione pari all’interasse delle nervature, come indicato nelle figure seguenti. La resistenza nella direzione ortogonale alle nervature è “pressoché” nulla. va posta particolare attenzione alla congruenza degli spostamenti della striscia di solaio adiacente ad un elemento più rigido flessionalmente, come ad esempio travi e pareti portanti.



5.1.5. Il predimensionamento

Un corretto e semplice metodo di predimensionamento di un solaio è il seguente:

– scelta della **tipologia** in funzione:

- | | |
|-----------------------------|--|
| ✓ luce di calcolo | ✓ carichi applicati |
| ✓ destinazione d'uso | ✓ caratteristiche antincendio richieste |
| ✓ accessibilità al cantiere | ✓ disponibilità di mezzi per la movimentazione in cantiere |

– scelta dello **spessore** in funzione della sua deformabilità (SLE):

il DM.1996 riportava : ”*Lo spessore dei solai a portata unidirezionale che non siano di semplice copertura non deve essere minore di **1/25 della luce** di calcolo ed in nessun caso minore di 12 cm. Per i solai costituiti da **travetti precompressi** e blocchi interposti il predetto limite può scendere ad **1/30**. Le deformazioni devono risultare compatibili con le condizioni di esercizio del solaio e degli elementi costruttivi ed impiantistici ad esso collegati.*”

Solaio in latero-cemento	luce = 5.00 m	$h = 1/25 \times 5.00 = 20 \text{ cm}$
	luce = 6.00 m	$h = 1/25 \times 6.00 = 24 \text{ cm}$
Solaio precompresso	luce = 6.00 m	$h = 1/30 \times 6.00 = 20 \text{ cm}$

5.1.6. L'analisi dei carichi

Il solaio è di fatto una trave caricata con carichi distribuiti e in alcuni casi concentrati; quindi vanno determinati i valori di calcolo dei carichi agenti sulla porzione di solaio in progetto, tenendo in considerazione:

- peso proprio ($G_{k,1}$) del solaio, da calcolarsi analiticamente o affidandosi alle tabelle del produttore;
- pesi permanenti portati ($G_{k,2}$), quali l'intonaco inferiore o controsoffitto, l'isolamento, il massetto, il pavimento, i tramezzi divisorii presenti sul piano, eventualmente un carico supplementare che tenga conto di nervature e fasce piene di particolare entità (es: 15% del p.p.);
- carichi variabili (Q_k), che rappresentano le azioni legate alla destinazione d'uso dell'opera (tabella 3.1.II DM 17/01/2018) (nel caso di edifici di civile abitazione o uffici non aperti al pubblico si ha 2.00 kN/m^2)

$$\text{carico di progetto agli SLU} \quad q_{d,SLU} = \gamma_G \Sigma G_{k,i} + \gamma_Q Q_k$$

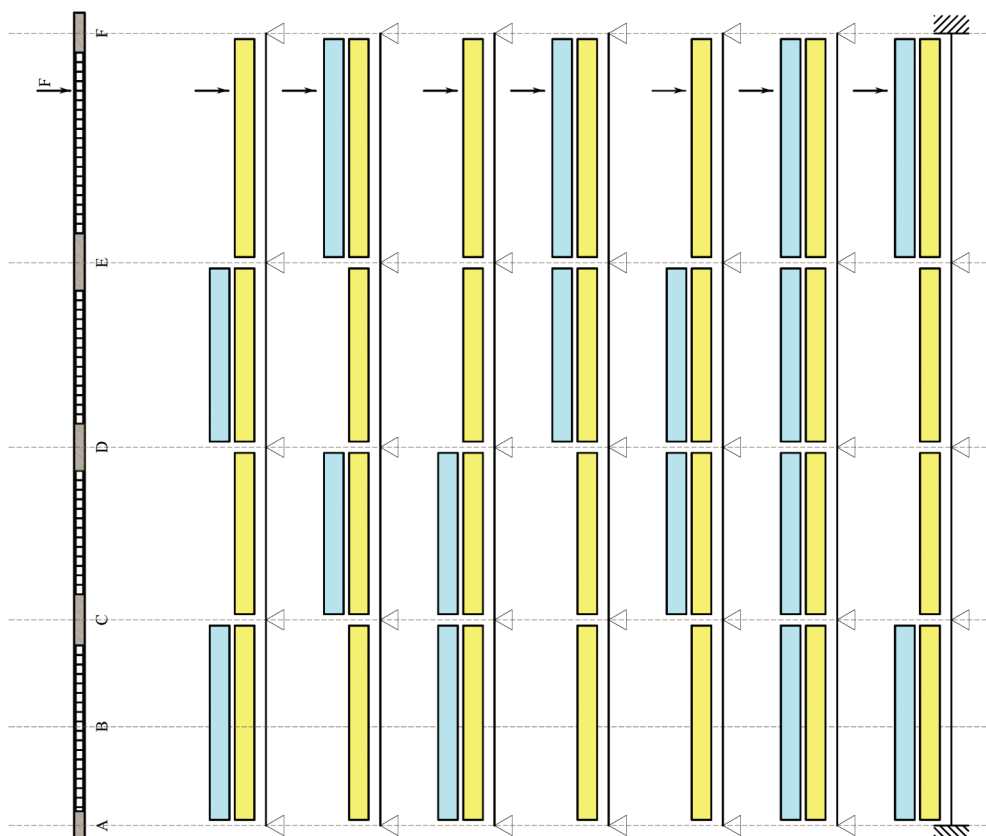
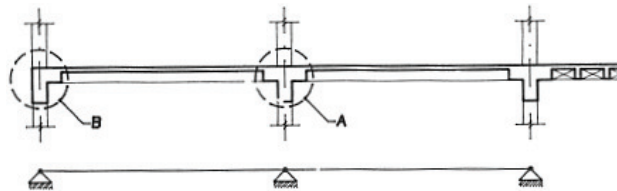
$$\text{carico di progetto agli SLE} \quad q_{d,SLU} = \Sigma G_{k,i} + Q_k$$

5.1.7. Modello di calcolo

Il tipico solaio a travetti / lastre prefabbricate si comporta come una trave appoggiata su vincoli fissi / elastici costituiti dalle strutture portanti dell'edificio (pareti o travi e pilastri).

Il più delle volte si può assumere che i vincoli siano fissi, anche se in realtà una trave longitudinale non è rigida flessionalmente. In casi particolari può essere necessario considerare l'effettiva rigidità dei vincoli.

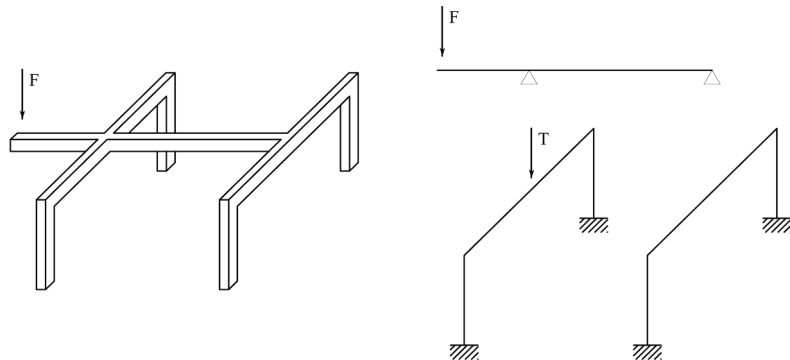
Un discorso analogo riguarda il vincolo torsionale di estremità: la trave di bordo è in grado di fornire al solaio un'aliquota del momento di incastro, ma è funzione della sua rigidità torsionale. Nel dubbio, e per evitare complicate valutazioni, si suole porsi nei due casi limite: appoggio perfetto e incastro perfetto, dimensionando il solaio per entrambe le situazioni. Grazie alle sue capacità duttili, il solaio in opera raggiungere un suo equilibrio interno ed una configurazione congruente, con valori delle sollecitazioni inferiori o al più uguali a quelle stimate in fase di progetto (casi limite).



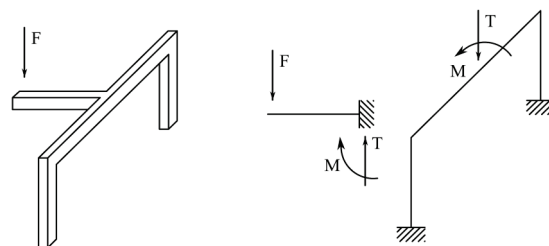
Torsione di equilibrio e di congruenza

In questo caso si può trascurare la torsione all'estremità, in quanto è una **torsione di congruenza**: conseguente al fatto di considerare congruenti le rotazioni reciproche. Se invece si considera una mensola incastrata ad una trave, la **torsione (di equilibrio)** presente nella trave è necessaria all'equilibrio del sistema: se non viene considerata si ha un sistema labile, quindi crollo.

torsione di congruenza



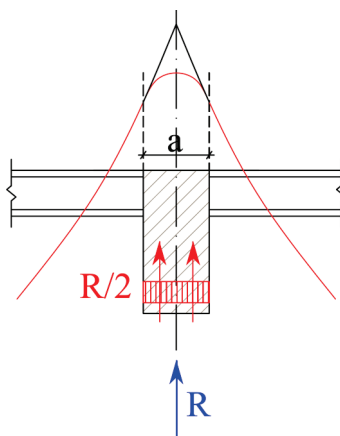
torsione di equilibrio

**Spuntamento del diagramma dei momenti**

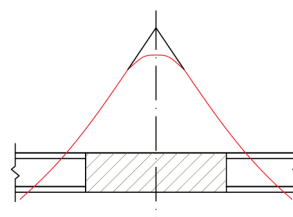
Il diagramma dei momenti flettenti, calcolato considerando il classico schema statico di trave appoggiata o incastrata, può essere “modificato” *riducendo i valori dei momenti negativi agli appoggi* per il fatto che **l'appoggio reale** del solaio o della trave in oggetto, **non è puntiforme**. La sua reazione non è quindi a rigore concentrata in un punto (asse dell'appoggio), ma distribuita su tutta la sua larghezza.

Il valore dello spuntamento è dato dalla seguente espressione:

$$\Delta M = \frac{R \cdot a}{8} = \frac{V \cdot a}{4}$$



Se l'appoggio è costituito da una trave in spessore di solaio particolarmente larga, non è corretto assumere tutta la sua larghezza quale larghezza di appoggio, in quanto la stessa trave è un elemento deformabile trasversalmente e longitudinalmente. Si assume quindi una larghezza convenientemente ridotta.



5.1.8. Dimensionamento delle armature

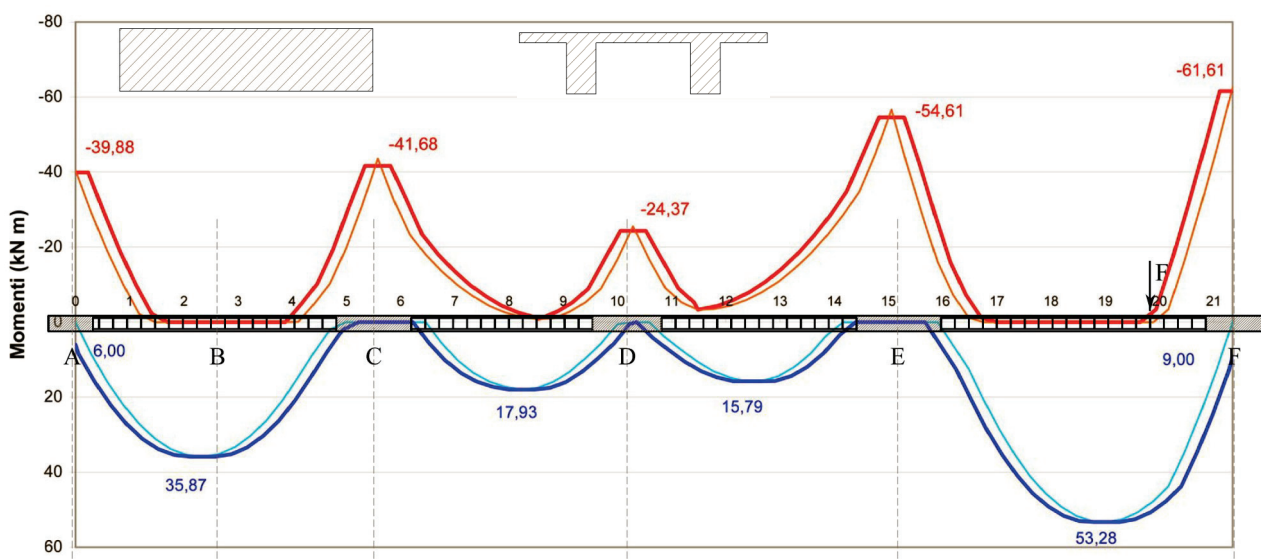
Fissata la tipologia, lo spessore del solaio e note le caratteristiche delle sollecitazioni si procede con il dimensionare le armature tese inferiori e superiori.

L'analisi delle sollecitazioni e quindi anche il progetto, è condotto spesso considerando una striscia di solaio di larghezza unitaria (1m - 100cm - 1000mm), mentre in altri casi potrebbe essere utile riferirsi all'interasse.

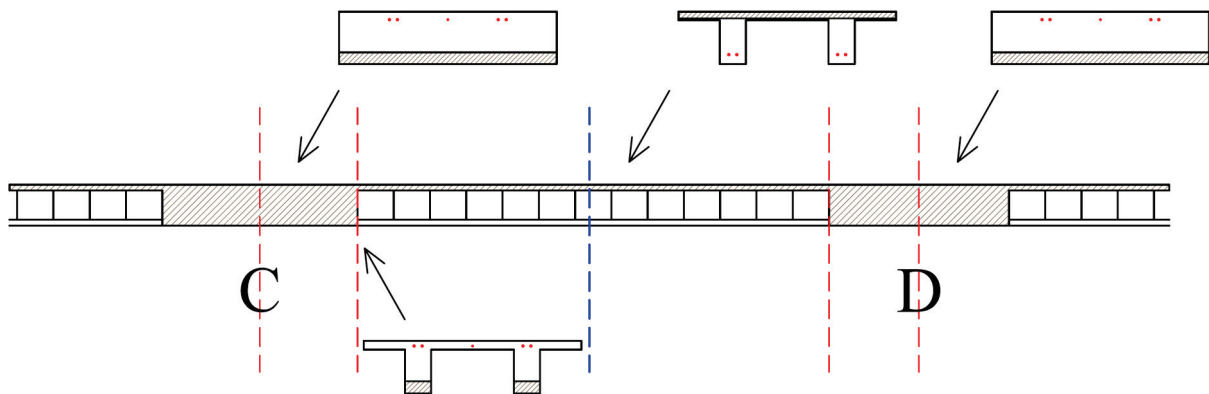
- si determinano le aree minime di armatura con la nota espressione: $A_s = \frac{M_{sdu}}{0.9 \cdot d \cdot f_{sd}}$
- in campata si sceglie il tipo di travetto dal catalogo del fornitore considerato con un'armatura uguale o superiore a quella minima calcolata, tenendo conto anche della lunghezza del "travetto a magazzino";
- agli appoggi si sceglie l'armatura (diametro del tondino) come se fosse una trave, prestando però attenzione:
 - è consigliato l'utilizzo al più di due diversi diametri nella stessa sezione;
 - diametro max del tondino $\phi 16 - \phi 18$, in funzione dello spessore del solaio e della soletta di completamento;
 - al massimo due barre per ogni nervatura (12 cm); in caso di necessità si può prevedere un tondino supplementare tra due nervature sopra la pignatta;

5.1.9. Progetto e verifica a flessione

La verifica a flessione del solaio si esegue con il metodo di verifica agli SLU considerando per ciascuna sezione la corretta geometria; infatti lungo la striscia considerata si hanno diverse sezioni resistenti: rettangolare e sezione a T, soggette sia a momento negativo che positivo.



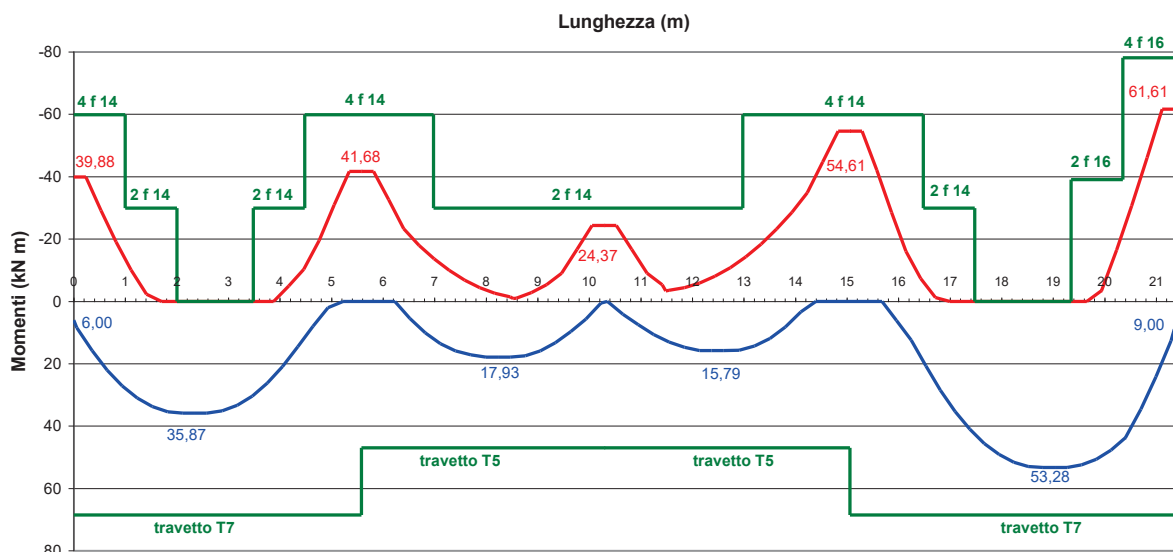
In corrispondenza delle travi e delle fasce piene la sezione resistente è rettangolare, mentre altrove è a doppio T, oppure a T considerando una nervatura pari alla somme delle nervature presenti sulla striscia di larghezza considerata.



La larghezza della nervatura da considerare è pari allo spazio libero fra due elementi di alleggerimento: in generale non è detto che sia pari alla dimensione del travetto prefabbricato (12cm).

Le verifiche a flessione vengono generalmente eseguite in “semplice armatura”, cercando di utilizzare le armature superiori (dette anche “armature al negativo” o “i negativi”) solo dove strettamente necessario.

Secondo le NTC2018, se la soletta ha uno spessore inferiore a 50mm (caso tipico) si deve **ridurre la resistenza a compressione del calcestruzzo del 20%**, cioè considerare $0.80f_{cd}$.



5.1.10. Progetto e verifica a taglio

Noto il diagramma del taglio sollecitante, si eseguono le verifiche a taglio nelle sezioni di maggior interesse, considerando le forme (rettangolari o a T) come da fig. a pag.2.43.

I solai sono un tipico esempio di elementi NON armati a taglio, infatti non è possibile prevedere e realizzare una specifica armatura a taglio (staffe).

Secondo il D.M. 1996 §4.2.2.2.2 si ha: $|V_{sdu}| \leq 0.25 \cdot f_{ctd} \cdot r \cdot (1 + 50 \cdot \rho_l) \cdot b_w \cdot d \cdot \delta$

Secondo il D.M. 17/01/2018 §4.1.2.3.5.1. si ha:

$$V_{Rdu} = \left\{ 0.18 \cdot k \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \sigma_{cp} \right\} b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot d$$

dove:

$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$ b_w, d sono larghezza anima e altezza utile sezione [mm]

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

$\rho_l = A_{sl}/(b d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$);

$\sigma_{cp} = N_{Sd}/A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 f_{cd}$);

“In presenza di significativi sforzi di trazione, la resistenza a taglio del calcestruzzo è da considerarsi nulla.”

La **verifica** consiste nel determinare il valore del taglio resistente V_{Rd} della sezione rettangolare piena e di quella a T e questi vengono riportati nel diagramma del taglio; la verifica è positiva se in ogni punto (sezione) il taglio resistente è superiore a quello sollecitante.

È possibile che il taglio resistente della sezione a T non sia sufficiente a contrastare il taglio sollecitante in prossimità degli appoggi.

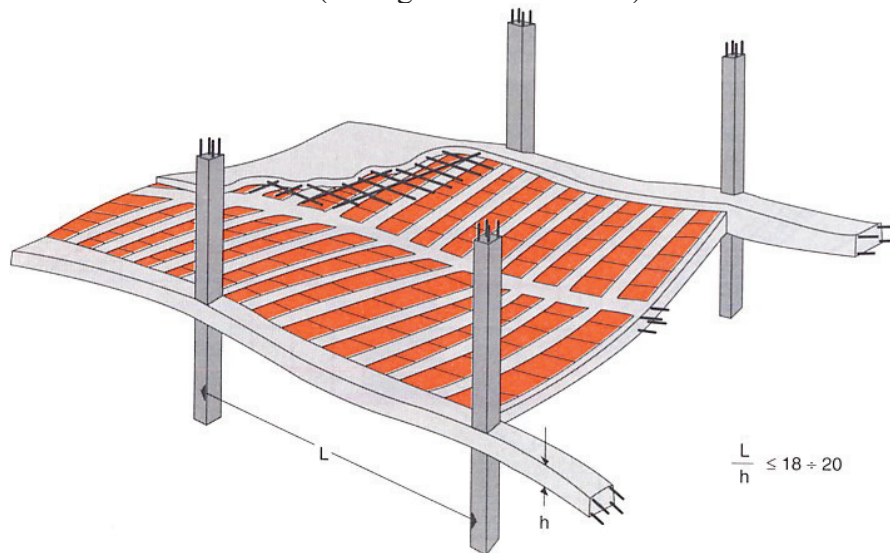
In tal caso si può:

- inserire delle zone piene o semipiene (tipicamente si ha $b_w=100\text{cm}$ o $b_w=62\text{cm}$) togliendo i blocchi di alleggerimento o il polistirolo;
- se le zone piene risultano eccessive è preferibile modificare il solaio:
 - aumentare lo spessore (d);
 - utilizzare il doppio travetto (travetti binati) ($b_w= 2 \times 12$ per interasse);
 - cambiare tipologia di solaio;

5.1.11. Dettagli costruttivi e prescrizioni normative

Comportamento a piastra:

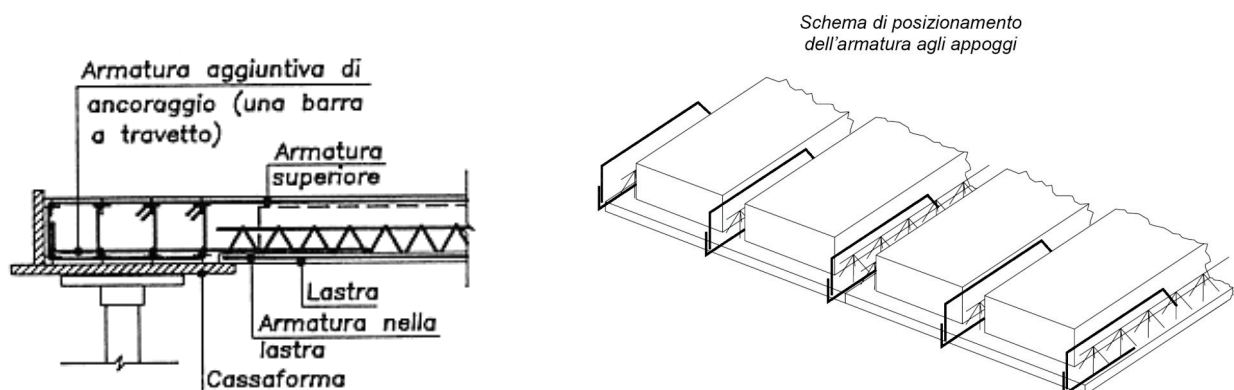
L'utilizzo di travi principali "eccessivamente snelle" comporta una notevole deformazione delle travi e di conseguenza anche del solaio, che può assumere una curvatura spaziale. Questa deformazione può causare sollecitazioni trasversali pericolose: **forti compressioni** in prossimità dei pilastri e **forti trazioni in mezzeria** (analogamente alla trave).



Armature inferiori agli appoggi:

*“Le armature longitudinali, oltre ad assorbire gli sforzi conseguenti alle sollecitazioni di flessione, devono assorbire quelli provocati dal taglio dovuti all’inclinazione delle fessure rispetto all’asse della trave, inclinazione assunta pari a 45°. **In particolare, in corrispondenza degli appoggi, le armature longitudinali devono assorbire uno sforzo di trazione pari al taglio sull’appoggio.**”*

Tali armature risultano fondamentali in zona sismica, in quanto garantiscono l’efficace aggancio fra il solaio (diaframma rigido) e le travi / i setti.



Armatura di ripartizione nella soletta:

Nella soletta viene disposta un'armatura trasversale "diffusa" in grado di garantire una ripartizione trasversale dei carichi; secondo il DM1996 deve essere almeno pari al 20% dell'armatura longitudinale inferiore (comunque almeno $3\phi 6/m$); è consuetudine utilizzare una rete elettrosaldata in grado di riprendere anche gli effetti del ritiro del calcestruzzo.

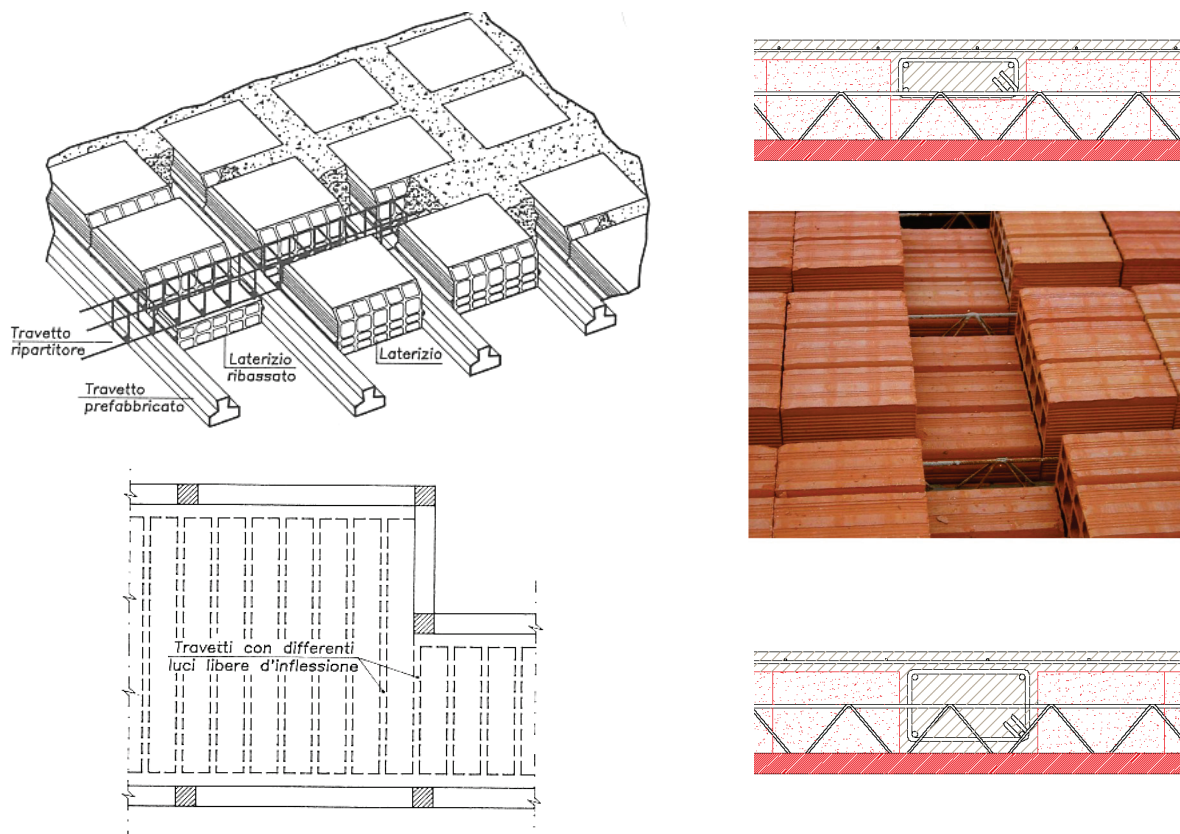
Nervature di ripartizione o correa:

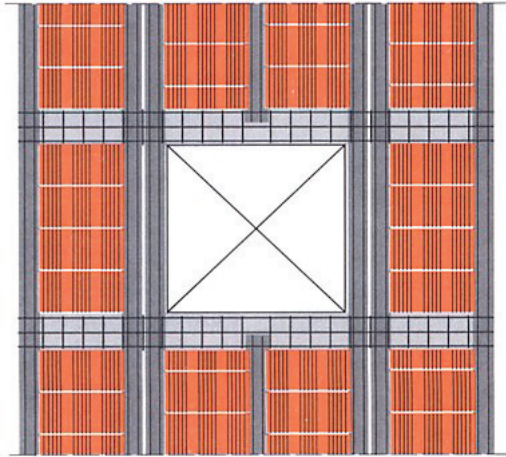
Allo scopo di garantire un'adeguata ripartizione trasversale dei carichi ed una collaborazione fra nervature parallele, si devono prevedere delle nervature di ripartizione (dette anche corree) in grado di "cucire" trasversalmente le nervature del solaio.

Il numero delle nervature è funzione della luce del solaio e della presenza di carichi concentrati. Si possono utilizzare anche nervature localizzate per distribuire azioni concentrate in una porzione di solaio o per "cucire" elementi a rigidità molto diversa.

Le corree si realizzano utilizzando elementi di alleggerimento ribassati (tipicamente $h=12$) oppure asportando completamente l'elemento (pignatta o polistirolo).

Elementi strutturali in c.a.



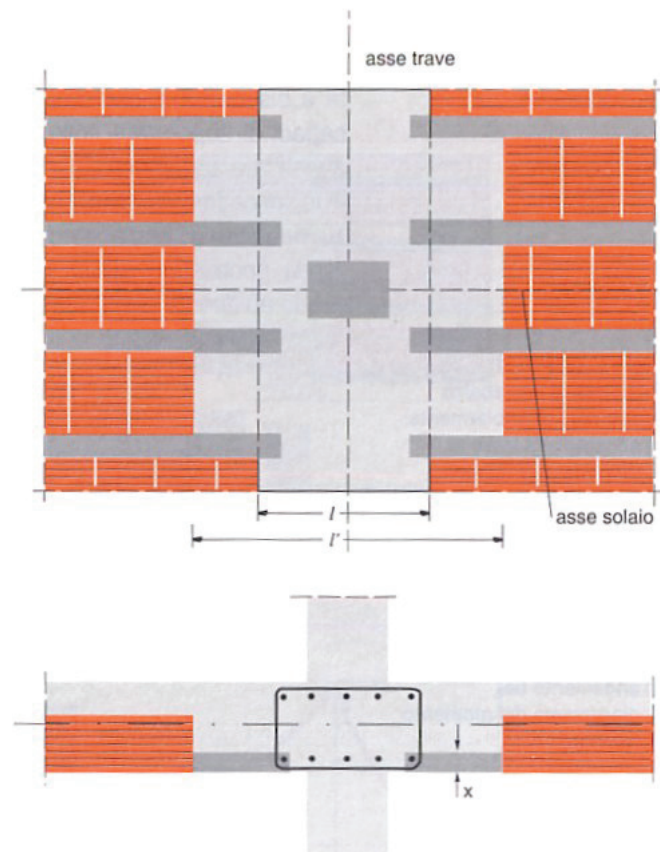
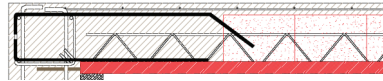
Piccole aperture nel solaio:

Nel caso di piccole o modeste aperture nel solaio, tipiche del passaggio degli impianti o botole, il foro può essere realizzato interrompendo il travetto interessato e collegandolo trasversalmente a quelli adiacenti che andranno rinforzati;

il rinforzo viene realizzato spesso accostando uno o più travetti, anche per incrementare la resistenza a taglio, oppure attraverso vere e proprie travi in c.a.

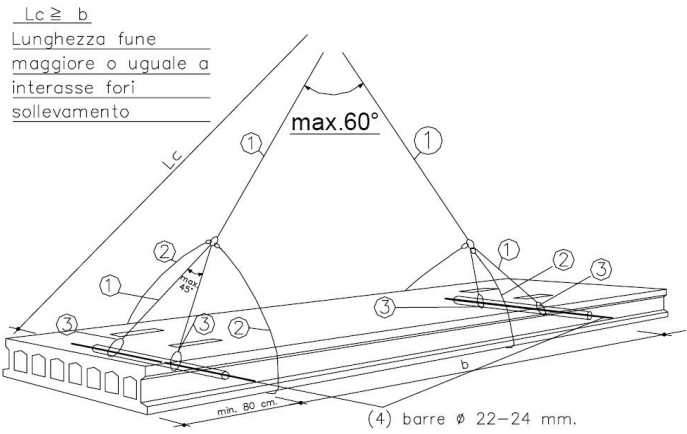
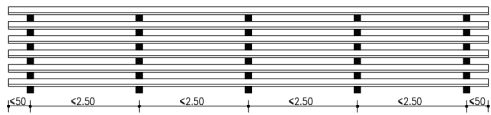
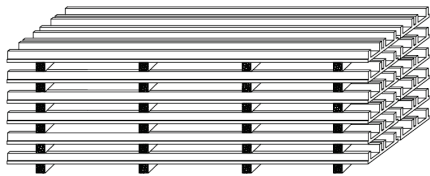
Fasce piene:

Le fasce piene si utilizzano quando la resistenza a taglio non è sufficiente: si asporta una o più pignatte (o il polistirolo) e si riempie lo spazio libero con calcestruzzo.

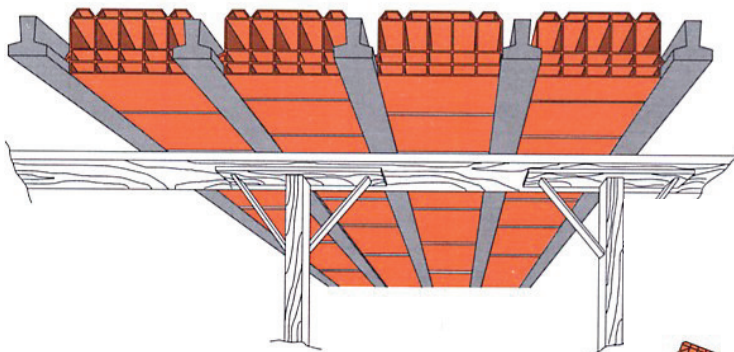


5.1.12. Montaggio e messa in opera / fasi costruttive

Stoccaggio

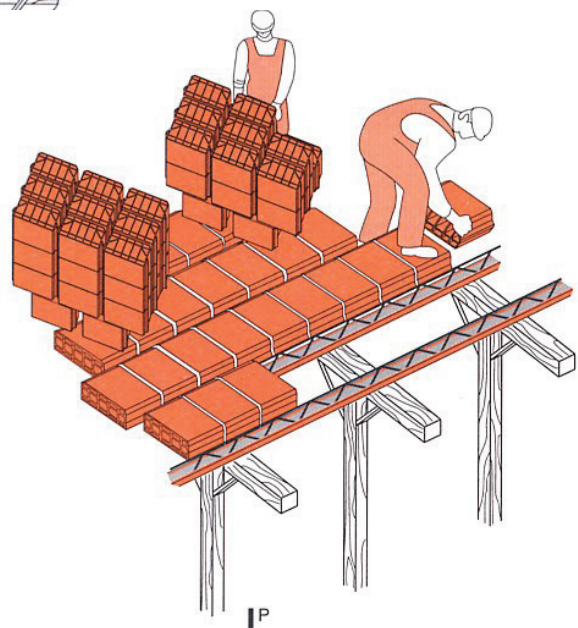


Sollevamento



Messa in opera

Puntelli provvisori

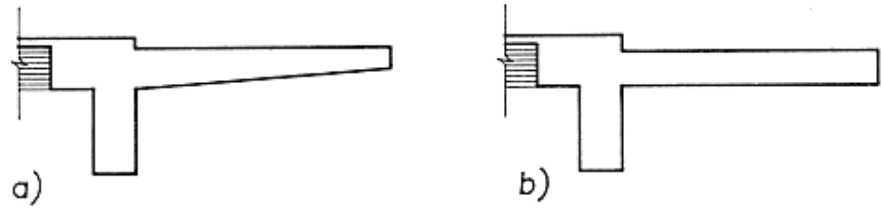


Fasi costruttive:

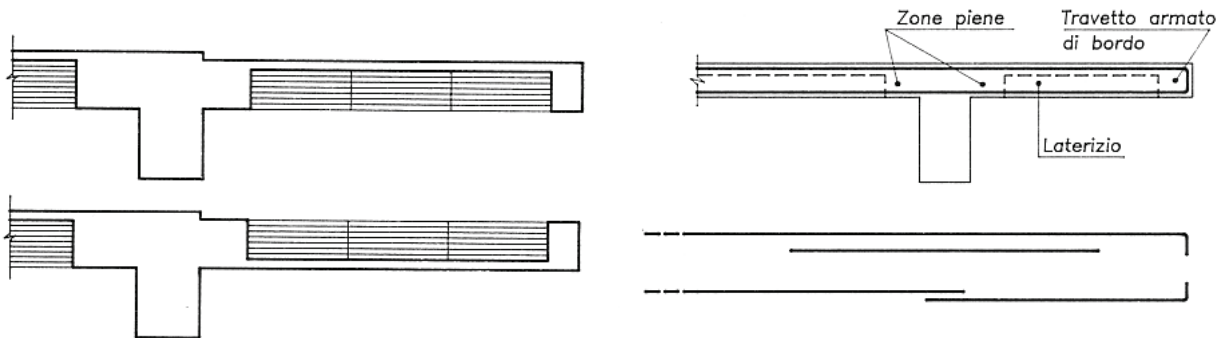
costruzione puntellata / non puntellata

5.2. Poggioli a sbalzo

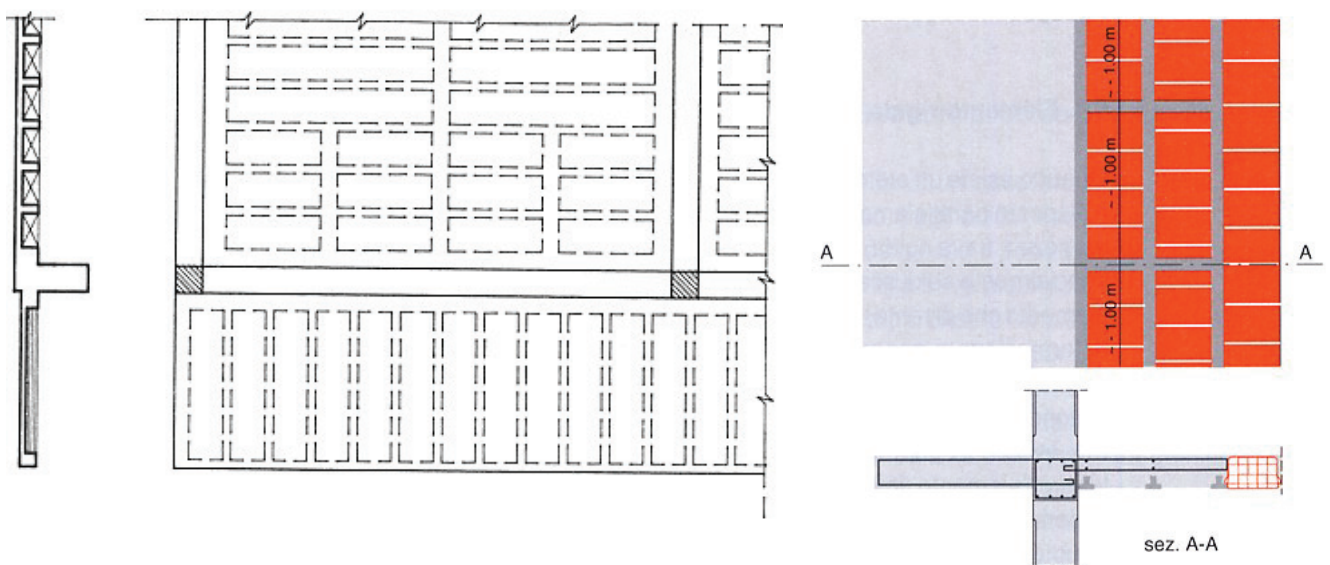
Soletta piena sagomata



Solaio a trave continua



Sbalzo ortogonale all'orditura del solaio



Soletta piena per grandi luci