



Tecnica delle costruzioni - A

IL SOLAIO

Ing. Claudio Sebastiani

Proff. Arch. Silvia Santini

Indice

- Le tipologie

- Il solaio in acciaio
- Il solaio latero-cemento

- Predimensionamento

- Criteri analitici
- Criteri empirici

- Analisi dei carichi

- Modellazione

- Il modello di trave continua
- I limiti della modello di trave continua
- le correzioni da apportare al modello
- le combinazioni di carico
- il diagramma involuppo

- Scelta dei vincoli

- Esercizio 1

- Esercizio 2

Norme italiane

D.M. 17 gennaio 2018 – IV Edizione – Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n°8

Circolare Del 21/01/2019 n.7 C.S.LL.PP - Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

Istruzione per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018

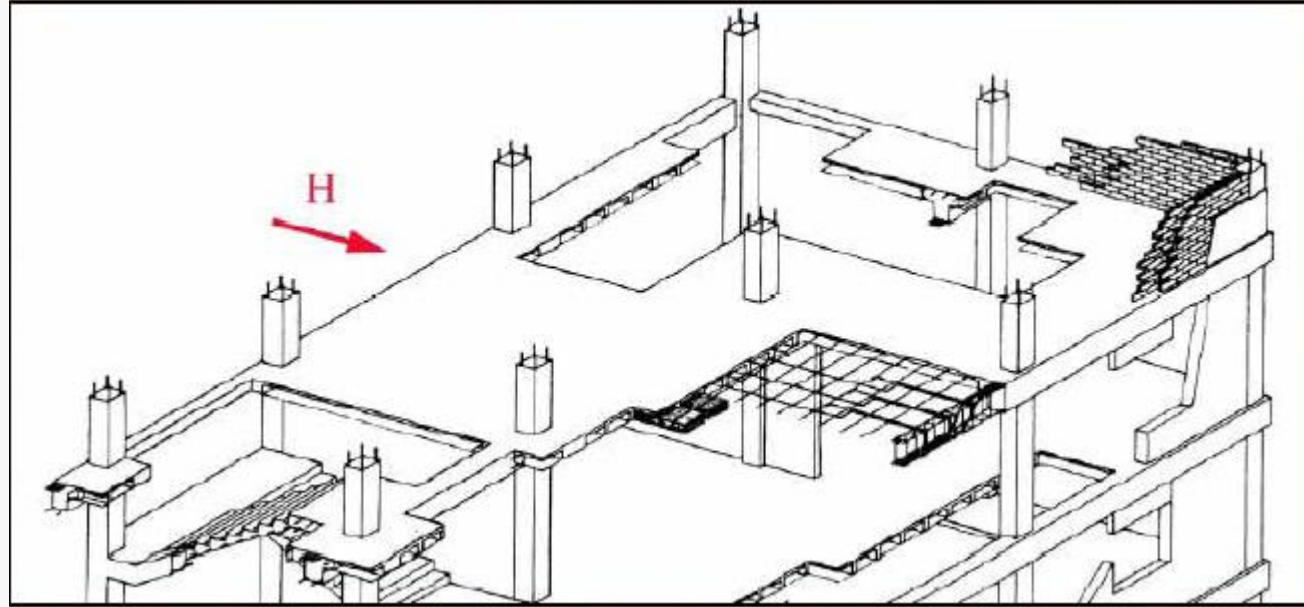
Norme europee

Eurocodice 1-Criteri generali di progettazione strutturale

Eurocodice 2-Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1 regole generali e regole per gli edifici

Eurocodice 3-Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1 regole generali e regole per gli edifici

Funzione degli impalcati orizzontali



- **Riportare i carichi verticali agenti ai piani** agli elementi strutturali verticali che a loro volta li trasmettono alle fondazioni.
- Garantire un **collegamento rigido** tra gli elementi strutturali verticali in modo da assicurare un comportamento spaziale della struttura, molto importante al fine di assorbire le forze orizzontali dovute a vento e sisma.

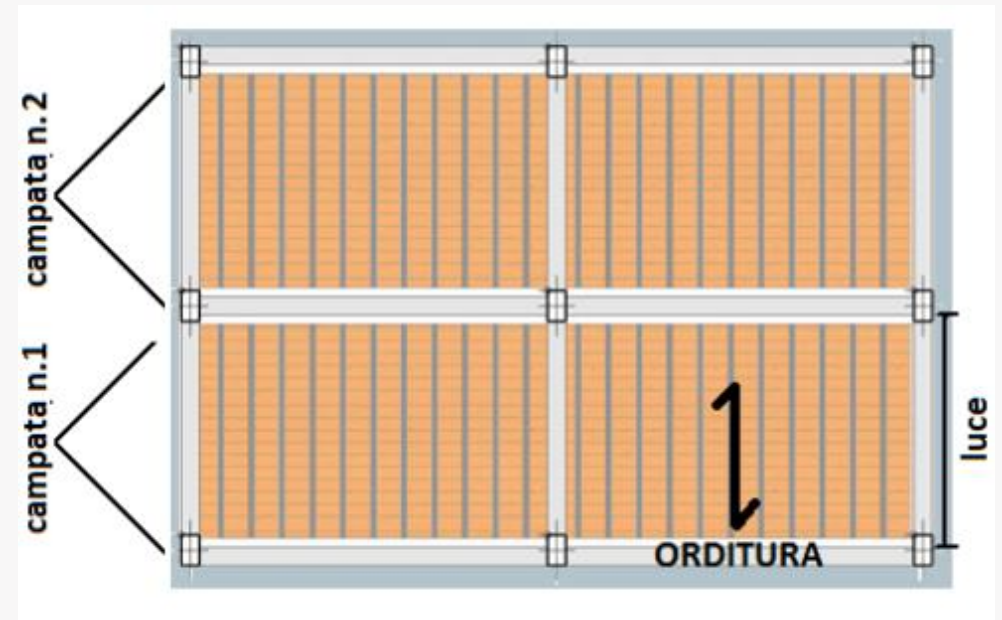
Il solaio

Il solaio è la parte di un edificio che divide un piano dall'altro, facendo da copertura per il piano sottostante e da base per quello soprastante.

Da un punto di vista tecnico può essere definito come una struttura bidimensionale piana con la funzione di sopportare i carichi presenti su di essa e trasferirli alle strutture (generalmente le travi) su cui si appoggiano.

I solai sono caratterizzati dalle seguenti grandezze:

- la **luce**, ossia la massima distanza tra due appoggi consecutivi
- la **campata**, definita come la porzione di solaio compresa tra due appoggi
- l'**orditura**, che rappresenta la direzione della struttura portante del solaio



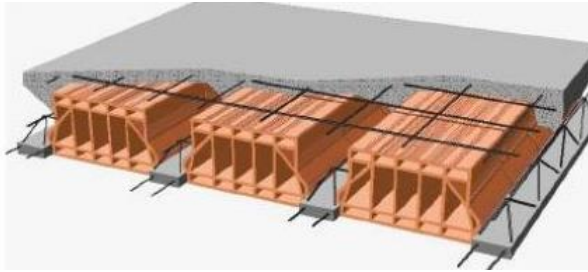
In un solaio possono essere individuate più orditure, in base all'importanza della struttura che sostiene i carichi gravanti sul solaio, le orditure vengono suddivise, in base al loro ordine di posizionamento, in: principali (o primarie), secondarie, terziarie e così via.

Tipologie di solaio

I solai possono essere suddivisi sinteticamente in quattro tipologie:

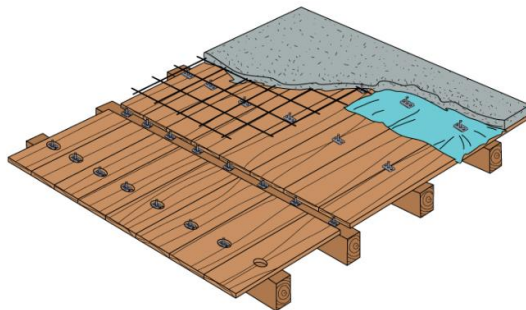
Solai latero-cementizi

È sicuramente la **tecnica costruttiva più diffusa**, utilizzata nella realizzazione di semplici solai per comuni abitazioni in cui la struttura in calcestruzzo armato si unisce ad elementi di alleggerimento normalmente in laterizio.



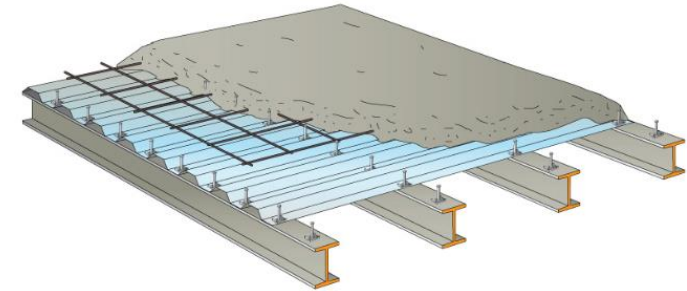
Solai in legno

La tecnica costruttiva dei solai in legno è quella di **concezione più antica**. L'utilizzo dell'orditura lignea rappresenta il modo più consolidato, semplice ed efficace di realizzare un solaio, in cui ci sono travi principali che coprono l'intera luce.



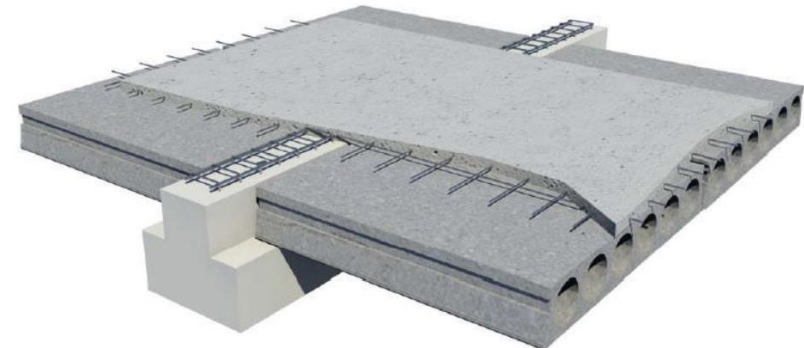
Solai in acciaio

rappresentano la naturale **evoluzione tecnologica** dei solai in legno, al posto delle travi portanti lignee, vengono poste delle travi portanti in acciaio.



Solai in c.a.

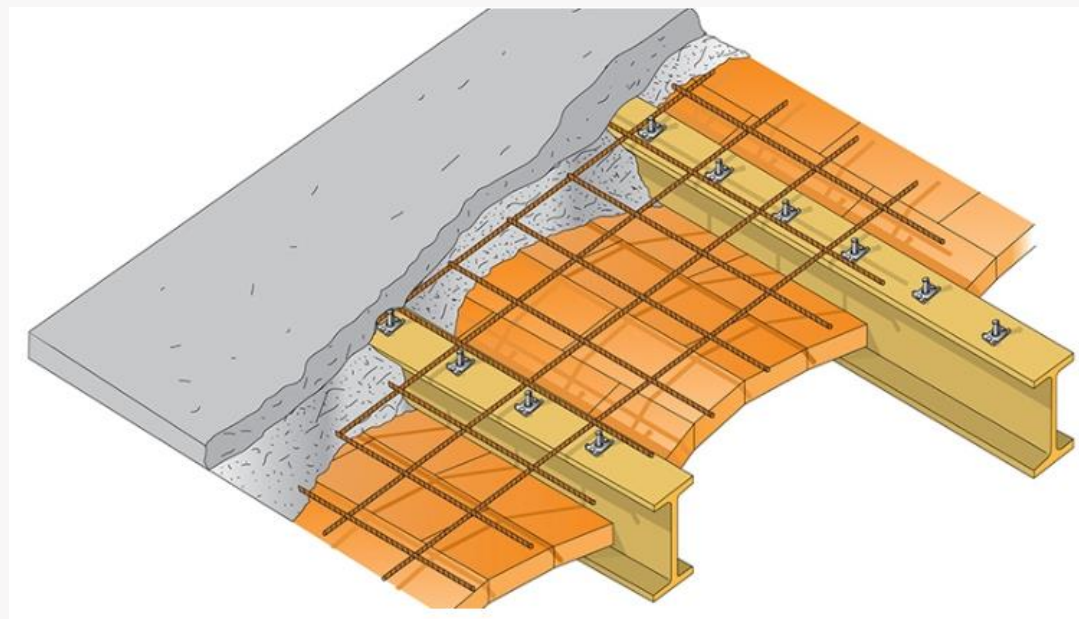
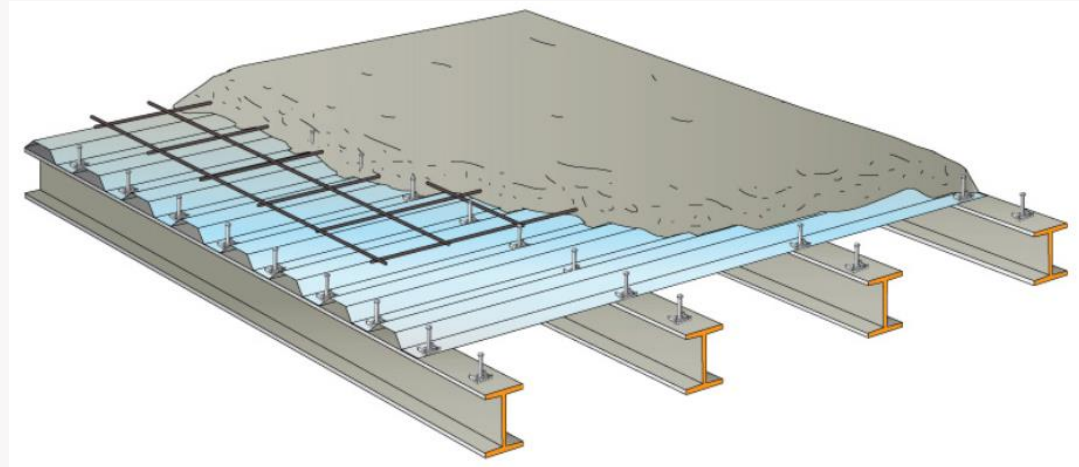
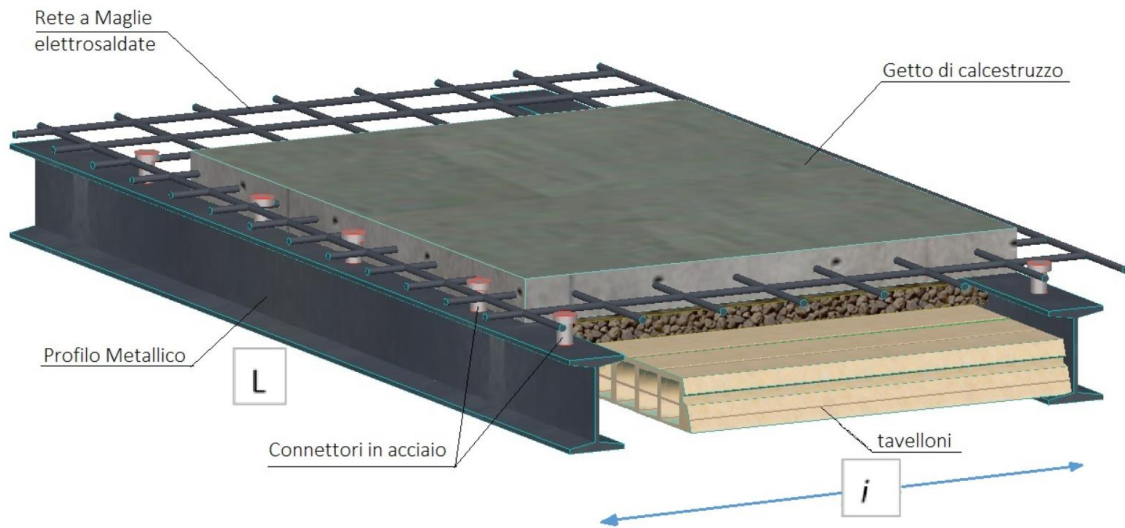
Sono usati per migliorare le prestazioni dei solai, sfruttando il **comportamento bidimensionale delle piastre**, ma allo stesso tempo minimizzando i costi della mano d'opera e delle materie prime impiegate.



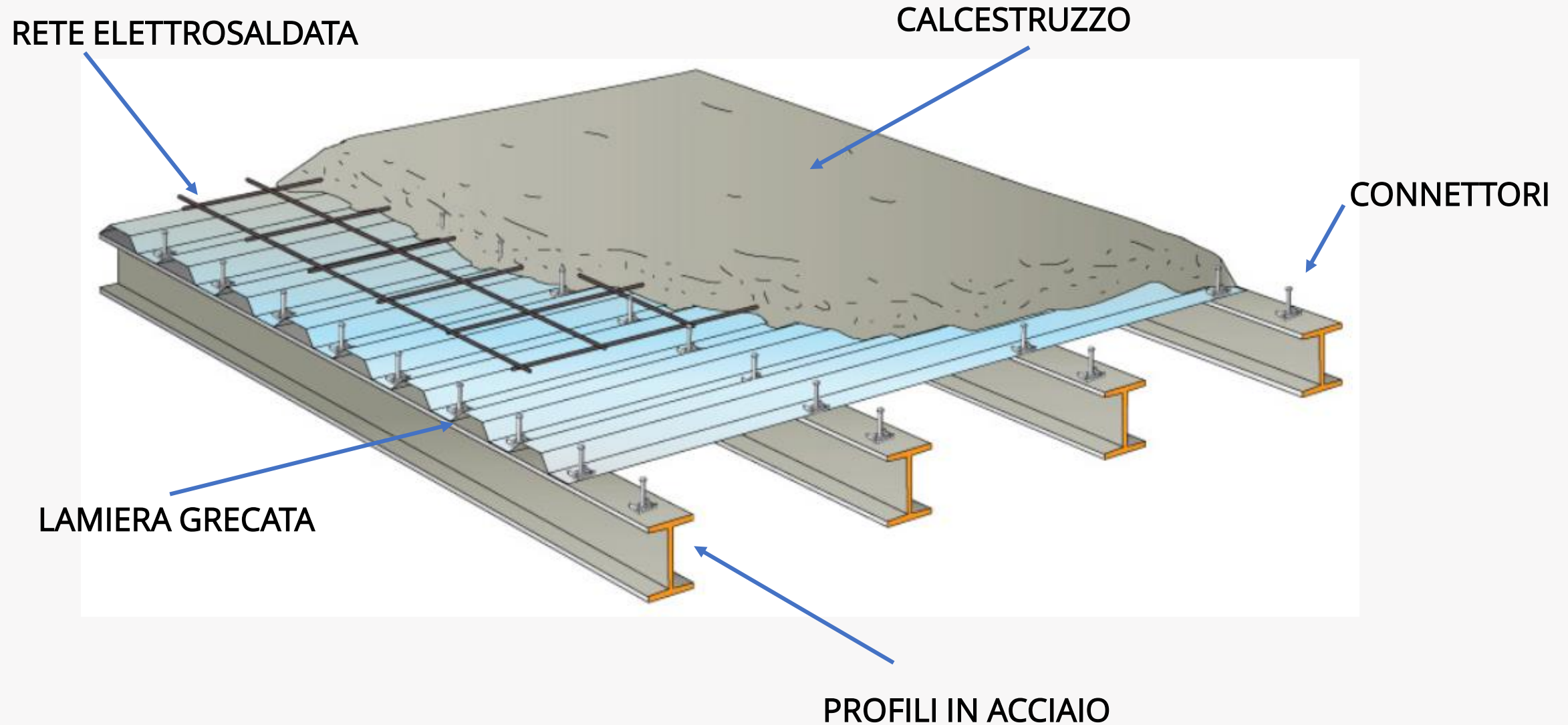
Solai in acciaio

Esistono varie tipologie di solai in acciaio :

- solai con voltine
- solai con tavelloni
- solaio con lamiera grecata



Solai in acciaio in lamiera grecata



Solai in acciaio in lamiera grecata

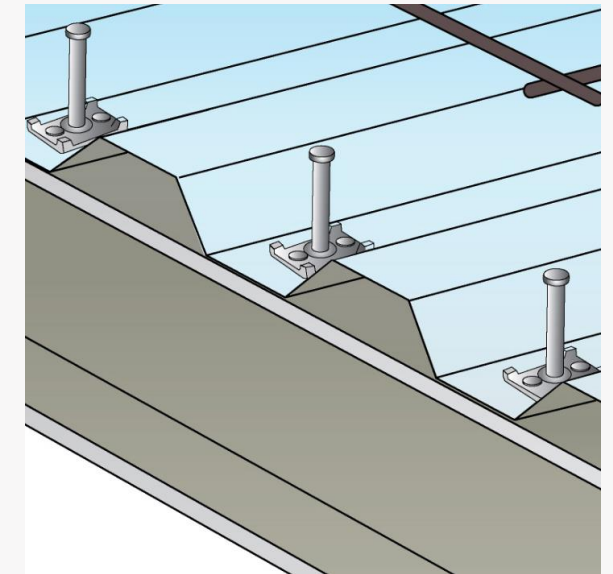
LAMIERA GRECATA

Sopra le travi si posa di regola una lamiera grecata. Per eseguire il fissaggio la lamiera deve essere ben aderente alla trave. Si possono sovrapporre al massimo due lamiere per uno spessore complessivo di 2 mm.

Lamiere collaboranti HI-BOND *HI-BOND collaborating sheets*

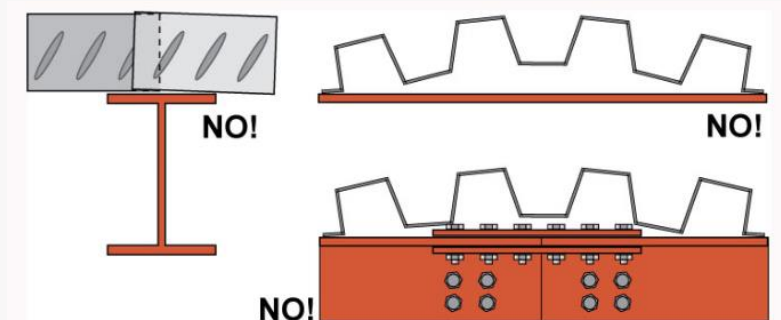


Lamiere non collaboranti *Non collaborating sheets*

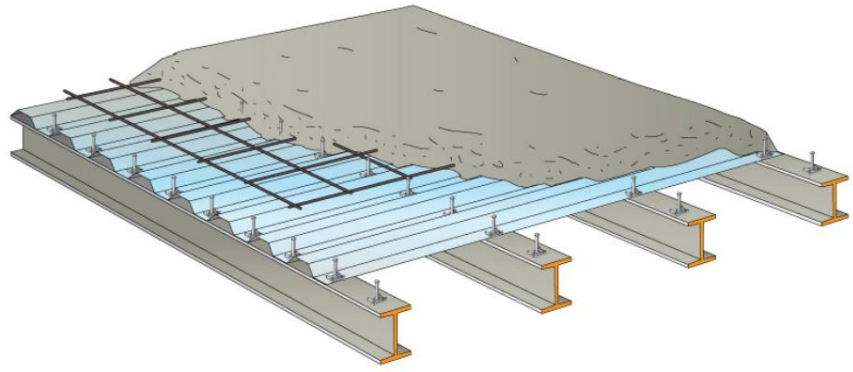


POSA LAMIERA GRECATA

Non si possono fissare i connettori con sovrapposizioni irregolari di più fogli di lamiera, sopra lamiere che non siano bene aderenti alla trave o sopra travi imbullonate.



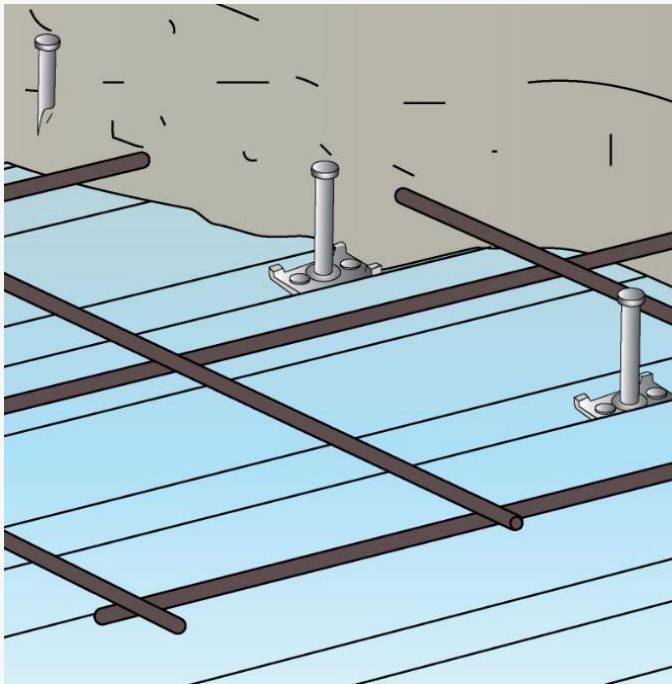
Solai in acciaio in lamiera grecata



- **CALCESTRUZZO**

Si utilizzano normalmente calcestruzzi strutturali di classe minima C25/30.

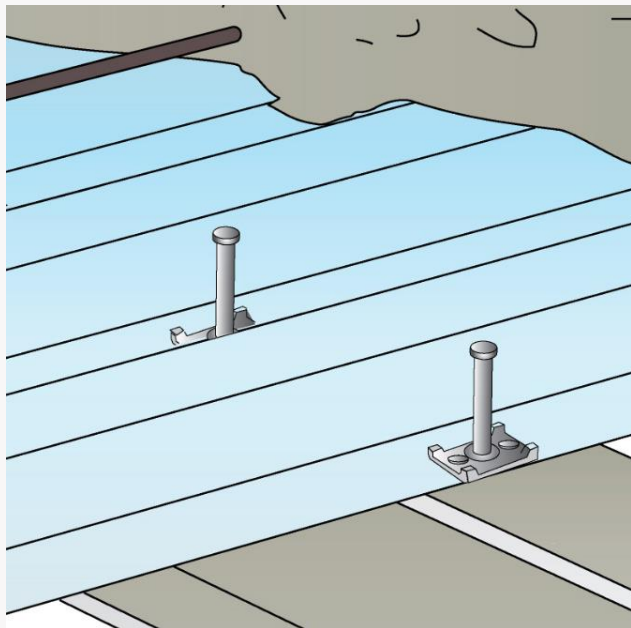
- Spessore sopra lamiera non inferiore a 5 cm.
- Gli impianti tecnici non devono attraversare la soletta.
- Si inserisce anche una rete elettro saldata o armatura equivalente.



- **RETE ELETTROSALDATA**

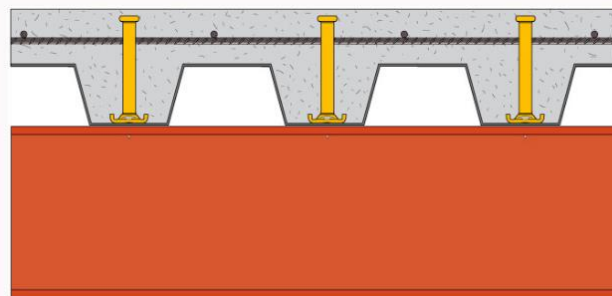
Nella soletta va sempre posta una rete elettrosaldata adeguatamente dimensionata. Normalmente $\text{Ø}8$ mm, maglia 20×20 cm a metà soletta. Non è necessario legare la rete ai connettori.

Solai in acciaio in lamiera grecata



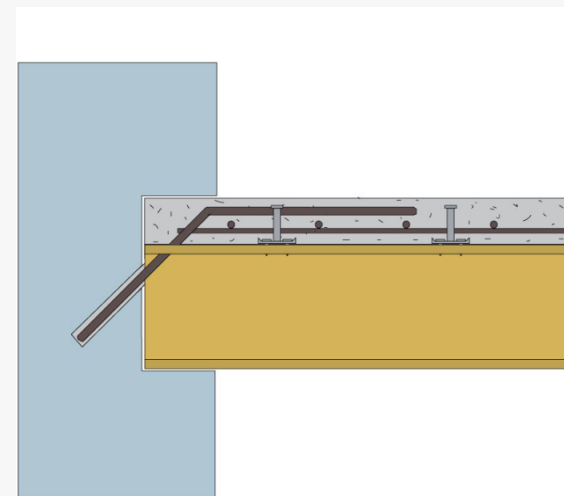
POSIZIONAMENTO CONNETTORI

Il numero di connettori da posizionare è determinato da un calcolo (in media risultano necessari circa 3/5 elementi al m²). Andranno fissati a spaziatura ravvicinata verso i muri e più distanziati al centro della trave.



COLLEGAMENTO ANTISISMICO AI MURI

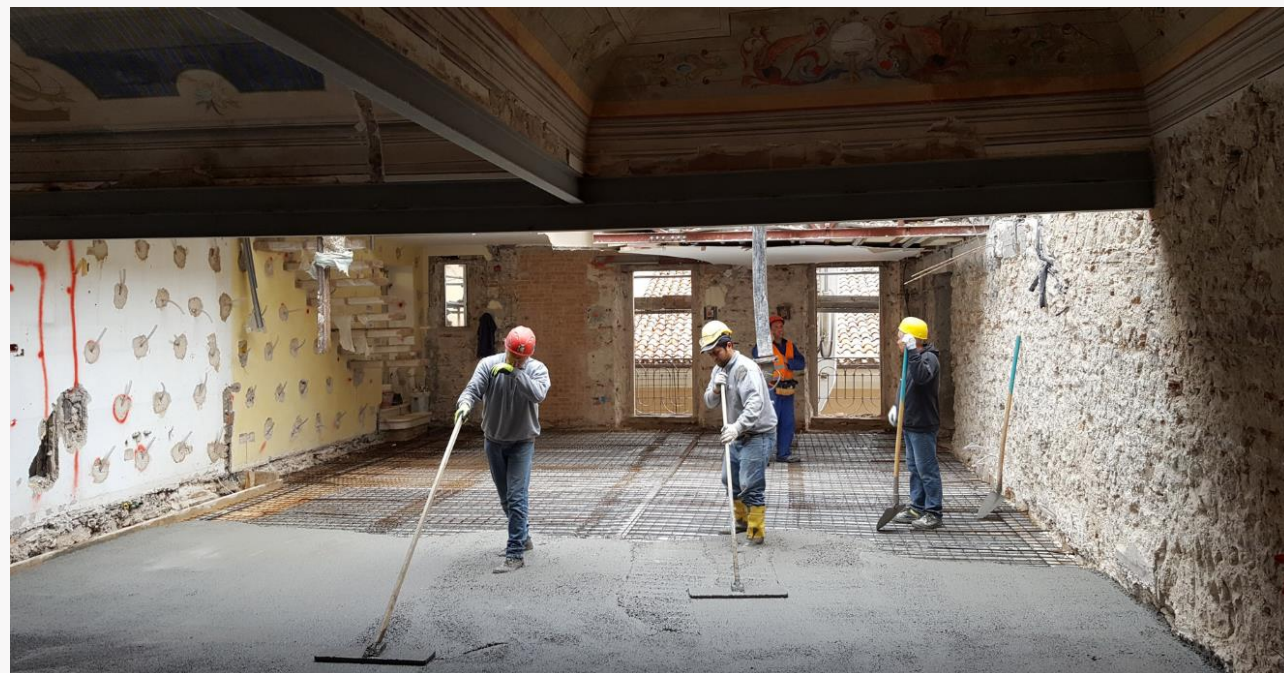
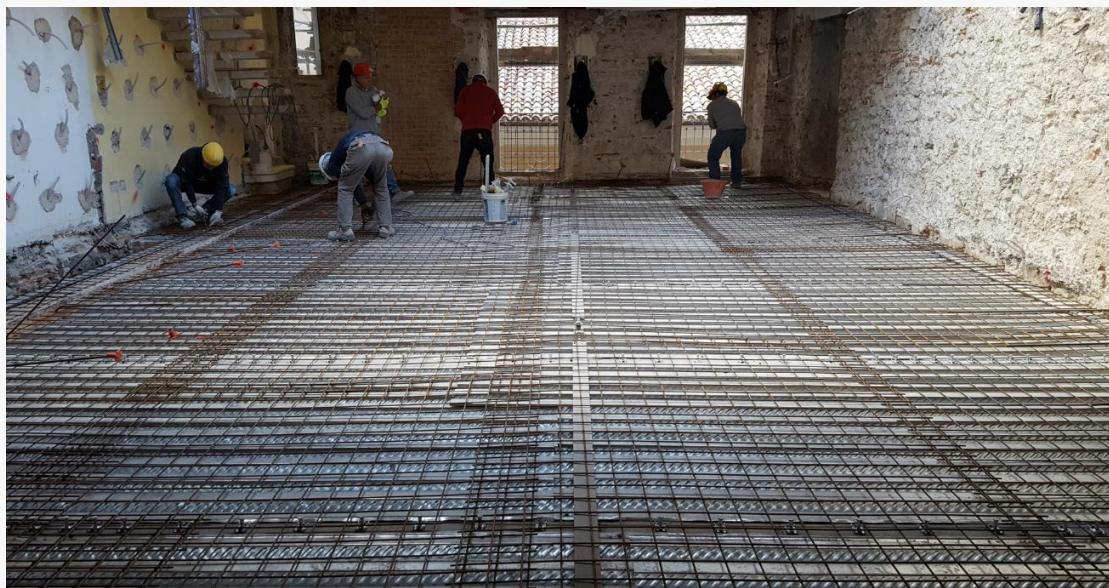
Se il solaio privo di cordolo è opportuno unire la soletta alle murature portanti perimetrali del solaio. Questo accorgimento apporta benefici in termini di rigidezza e resistenza sismica del solaio.



Solai in acciaio in lamiera grecata

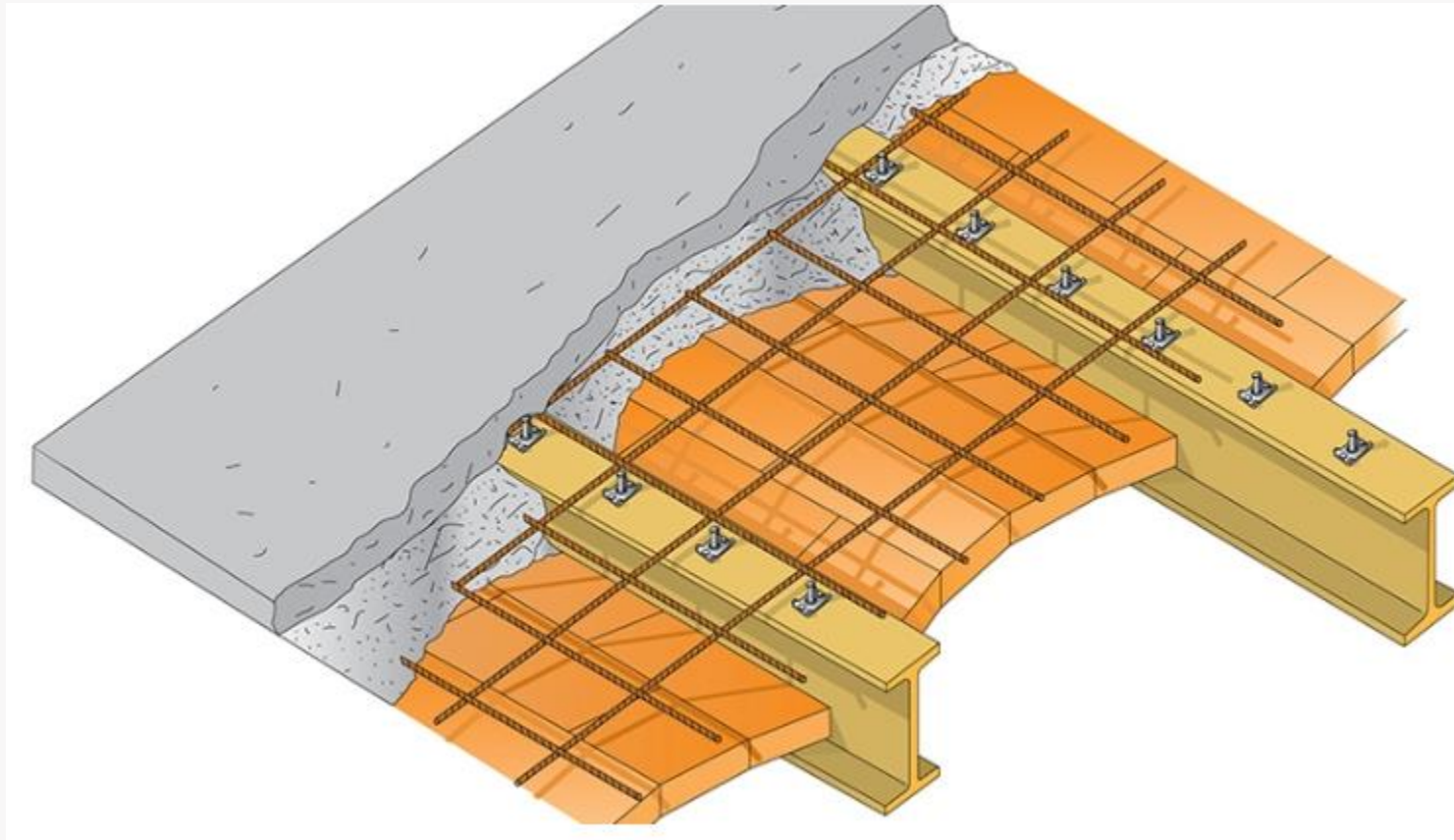


Solai in acciaio in acciaio



Solai in acciaio a voltine

A partire dalla seconda metà dell'Ottocento, si sono realizzati solai con travi in ferro a doppio "T" con interposti elementi in laterizio. Le putrelle poggiavano sui muri maestri ad interassi normalmente variabili dai 60 ai 110 cm ed erano intervallate con elementi in laterizio pieno o forato. Sopra la struttura, così realizzata, si stendeva uno strato di riempimento atto a livellare la superficie del solaio ed a costituire il letto di posa per la pavimentazione, utilizzando spesso materiali di scarto del cantiere.



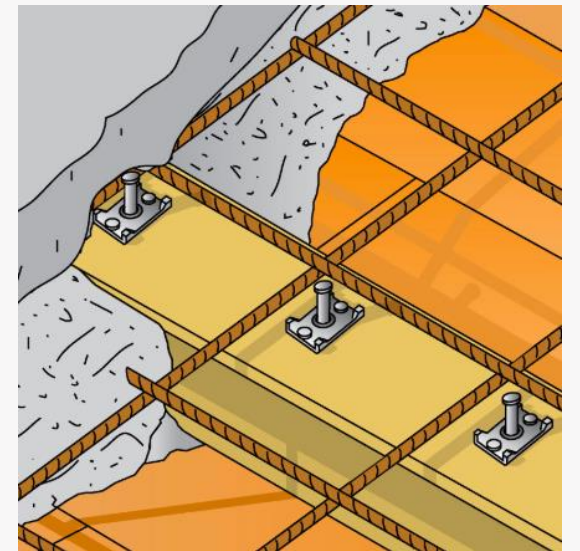
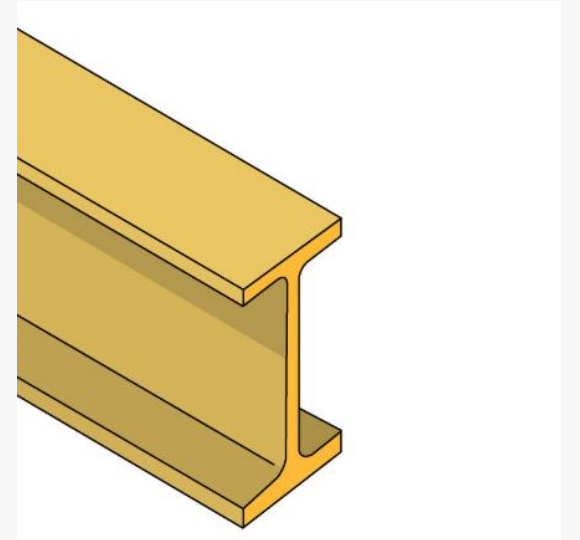
Solai in acciaio a voltine

TRAVI IN ACCIAIO

Nel passato non si usavano profili a geometria uniformata. E' quindi necessario rilevare la sezione del profilo ed individuare le caratteristiche dell'acciaio. Normalmente si utilizzavano profili tipo IPN o NP.

SOLETTA

- Si utilizzano normalmente calcestruzzi strutturali di classe minima C25/30
- Spessore non inferiore a 5 cm.
- Gli impianti termici non possono attraversare la soletta.



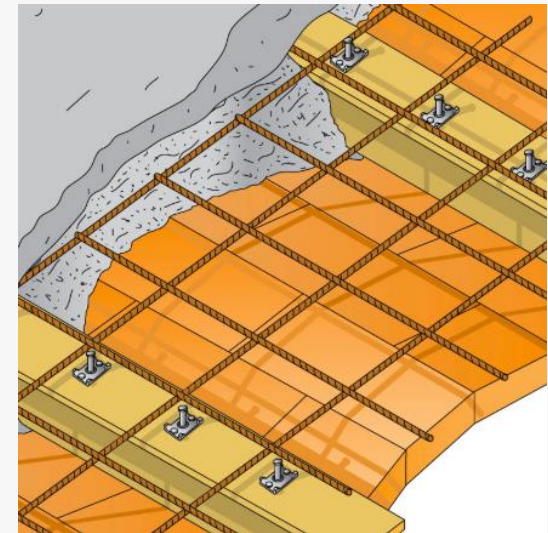
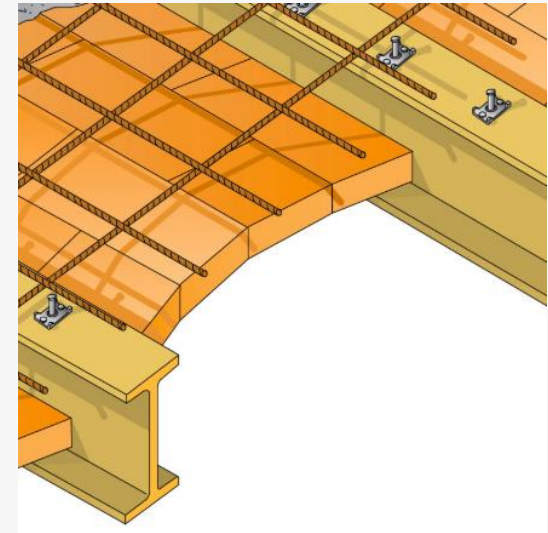
Solai in acciaio a voltine

INTERPOSTO

E' costituito normalmente da volte o tavelloni in laterizio. Il livellamento era realizzato con materiale di riempimento sciolto; è preferibile sostituire questi strati pesanti con argilla o polistirolo. Se in buone condizioni il laterizio interposto può essere utilizzato come cassero per il successivo getto.

RETE ELETTRISALDATA

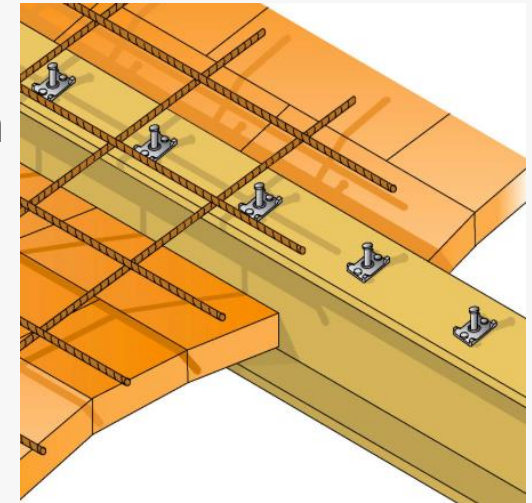
Nella soletta va sempre posizionata una rete elettrosaldata adeguatamente dimensionata. Normalmente \varnothing 8 mm maglia 20 x 20 cm, posizionata a metà soletta. Non è necessario legare la rete ai connettori



Solai in acciaio a voltine

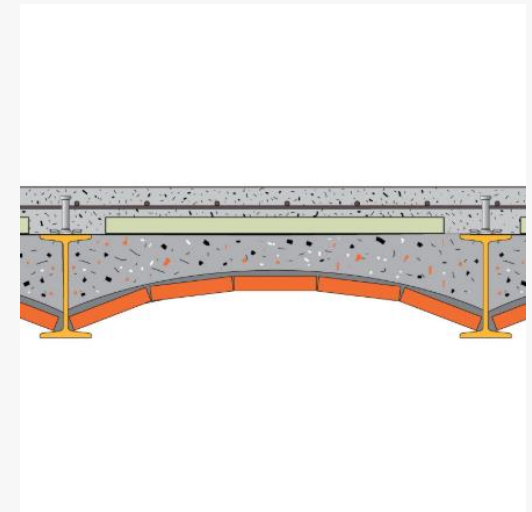
POSIZIONAMENTO CONNETTORI

Il numero di connettori da posizionare è determinato da un calcolo (in media risultano necessari circa 5/6 elementi al m²). Andranno fissati a spaziatura ravvicinata verso i muri e più distanziati al centro della trave



ISOLANTE COME ELEMENTO STRUTTURALE

L'interposizione di un pannello di materiale isolante rigido permette di aumentare la sezione della trave mista acciaio-calcestruzzo senza incrementare il peso proprio del solaio. Si ottengono vantaggi in termini di resistenza, rigidità ed in parte di isolamento termo-acustico



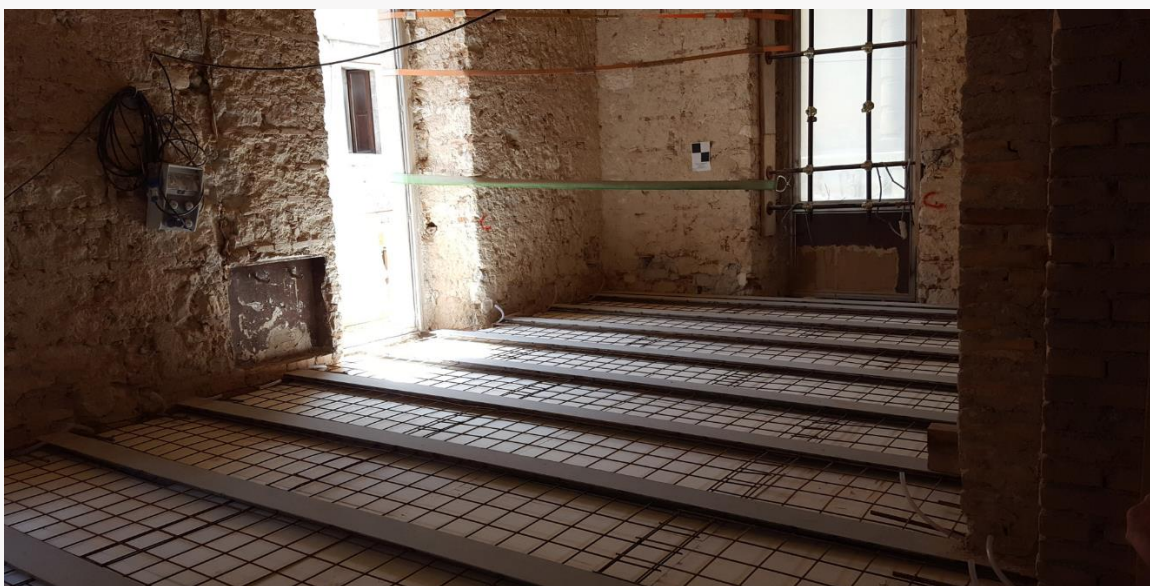
Solai in acciaio a voltine



Solai in acciaio a voltine



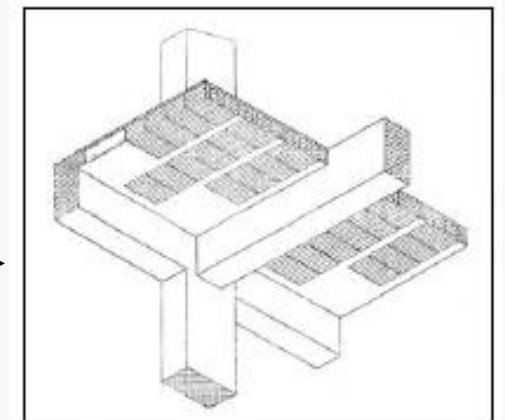
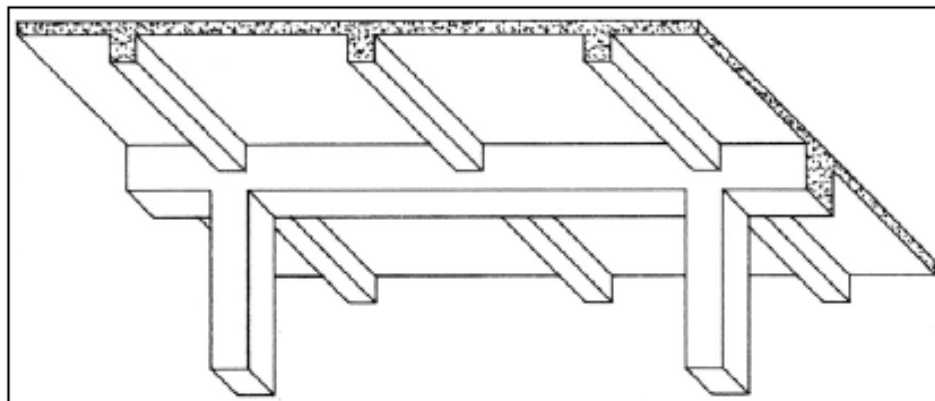
Solai in acciaio con tavelloni



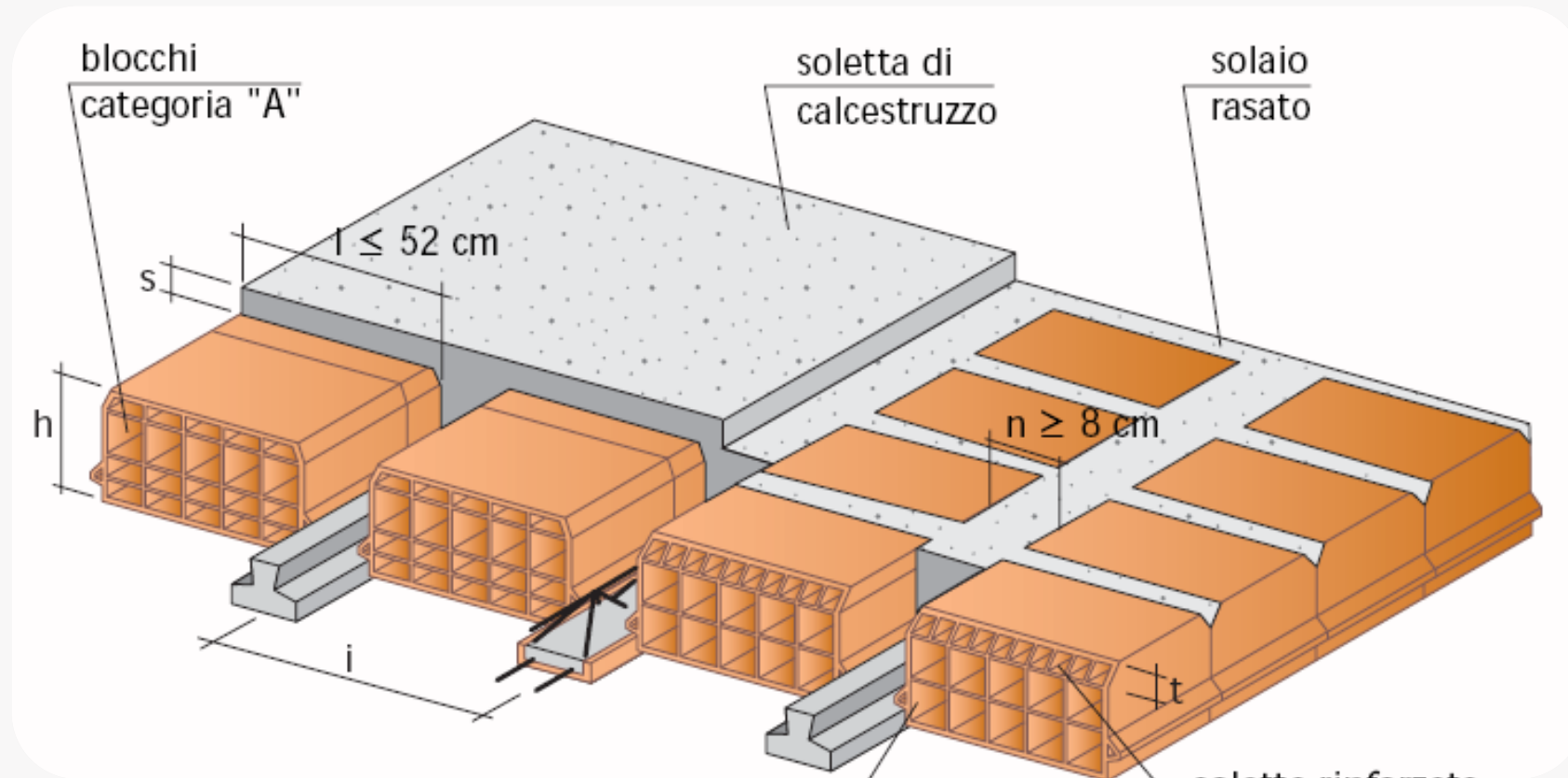
Il solaio latero-cementizio

Tipologie costruttive

Con l'avvento del c.a vennero realizzati i primi solai di tipo monolitico che ricalcavano perfettamente le orditure classiche dei solai in legno. Per risolvere i problemi legati alla **superficie di intradosso non piana**, alla **mancaanza di isolamento** acustico e alla onerosità di realizzazione, sono nati i solai misti in latero-cemento, cioè solai realizzati in c.a o c.a.p. e blocchi di alleggerimento interposti.



Il solaio latero-cementizio



Sezione schematica di un solaio misto in latero – cemento, composto da un'alternanza di pignatte in laterizio e travetti in cemento armato. Il tutto viene solidarizzato da una soletta collaborante gettata in opera.

Il solaio latero-cementizio

Requisiti fondamentali

- Resistenza meccanica
- Modesta deformabilità
- Minimo spessore
- Peso ridotto
- Buone proprietà isolanti, termiche e acustiche
- Superficie d'intradosso piana
- Resistenza al fuoco
- Rapida realizzazione
- Basso costo: ottenuto mediante un buon sfruttamento dei materiali impiegati, un ridotto impiego di manodopera, di opere provvisoriale e di sostegno.

Il solaio latero-cementizio

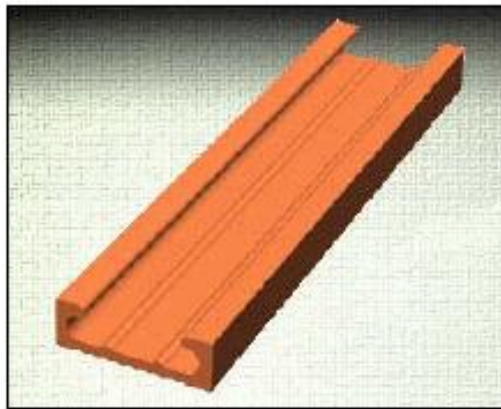
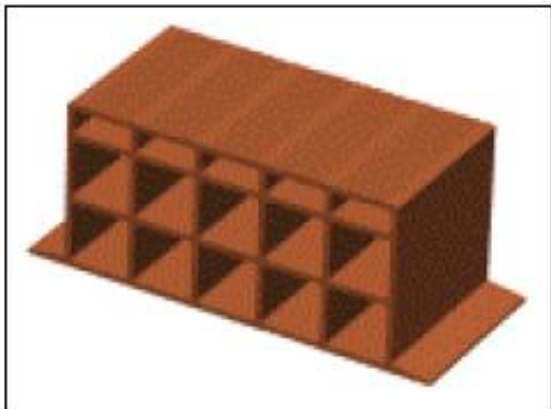
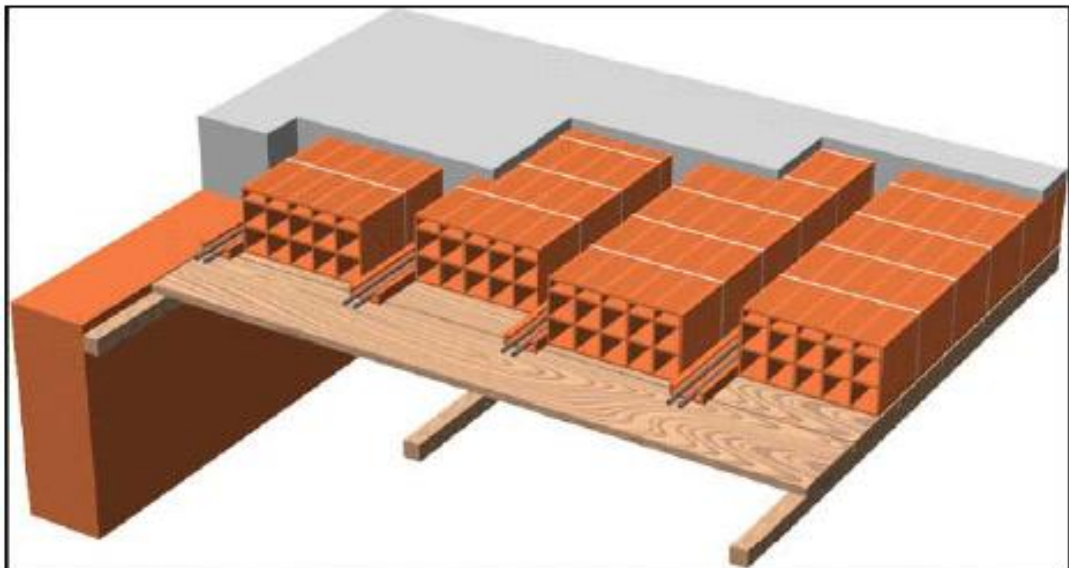
Tipologie costruttive

Esistono diverse modalità di esecuzione delle strutture di solaio in laterocemento, che sinteticamente si possono riassumere in:

- Solaio realizzato interamente in opera
- Solaio a travetti:
 - Travetti a traliccio
 - Travetti in calcestruzzo precompresso
- Solaio a pannelli prefabbricati
 - In c.a
 - In c.a.p
- Solai a lastra in c.a. o c.a.p con elementi di alleggerimento in laterizio o polistirolo espanso

Il solaio latero-cementizio

Solai gettati in opera



I blocchi, con alette o fondelli, vengono posizionati su di un impalcato di sostegno provvisorio, che viene smontato non appena il conglomerato ha raggiunto la sufficiente resistenza meccanica (comunque non prima di 28 giorni).

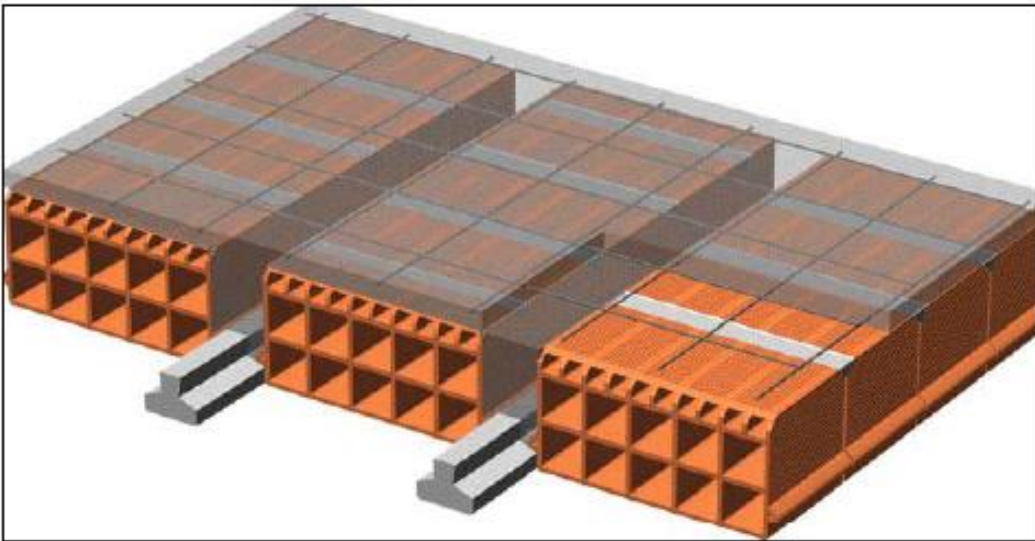
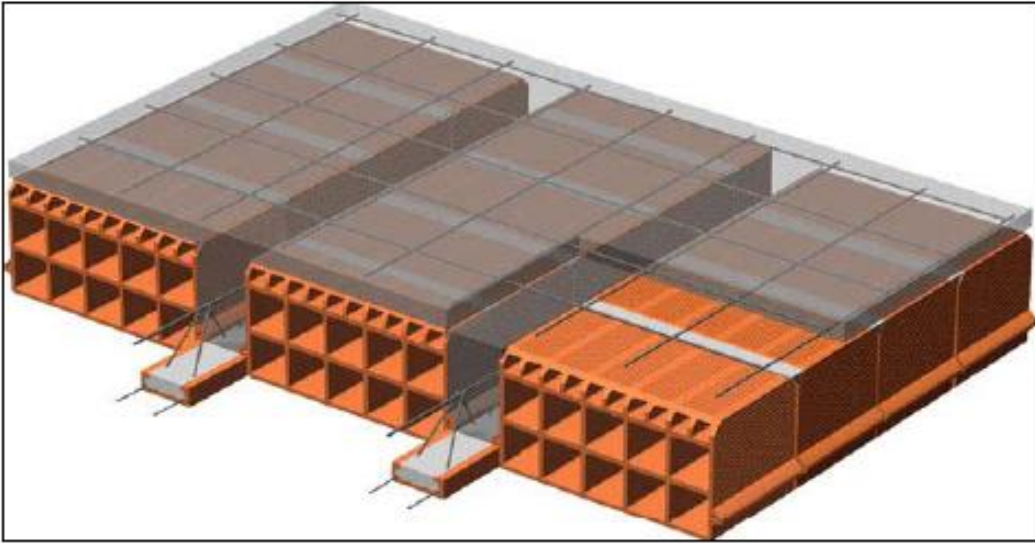
In passato ha rappresentato l'unico tipo di solaio misto in laterizio e cemento armato. Oggi è usato quando la pianta del fabbricato presenta forti irregolarità o quando non è possibile impiegare travetti o pannelli prefabbricati.

Il solaio latero-cementizio



Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati

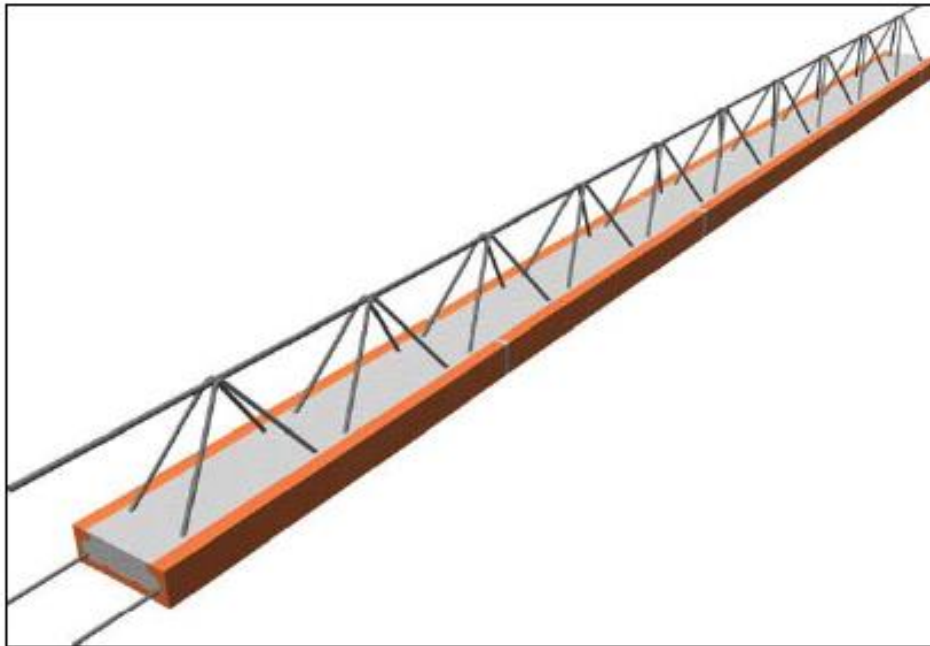


Un buon compromesso fra solaio in opera e solaio a pannelli è costituito dal solaio a travetti prefabbricati e blocchi interposti. Del solaio in opera conserva la flessibilità di adattamento anche a fabbricati di pianta complessa; mentre del solaio a pannelli mantiene, seppure in parte, la minor incidenza di carpenteria di impalcato.

Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati – a traliccio

I travetti a traliccio sono i travetti di uso più comune e sono composti da una piccola struttura reticolare spaziale con discrete capacità autoportanti. A seconda dell'utilizzatore vengono realizzati tralicci di diverse altezze e armature. Oltre all'armatura di base può venire annegata nella suola un'ulteriore armatura la cui sezione dipenderà dalle condizioni statiche del solaio finale.

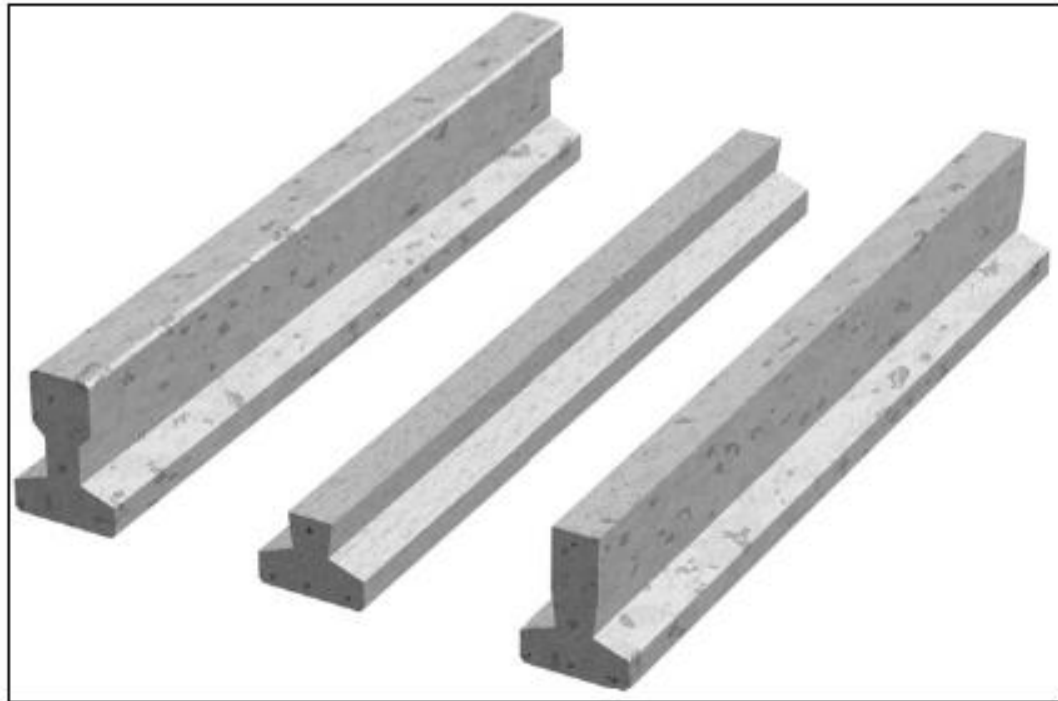


L'armatura destinata ad assorbire i momenti flettenti negativi, invece, deve essere posizionata in opera poco prima del getto finale. Con i travetti a traliccio non è necessario un impalcato provvisorio ma solo dei rompitratte posti a una distanza compresa tra 1 e 1,5m

Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati in c.a.p

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 difficoltosa la realizzazione di una puntellazione adeguata. Le dimensioni e l'armatura di precompressione, a cavi aderenti, realizzata con acciai ad alta resistenza, variano a seconda del campo di utilizzazione.



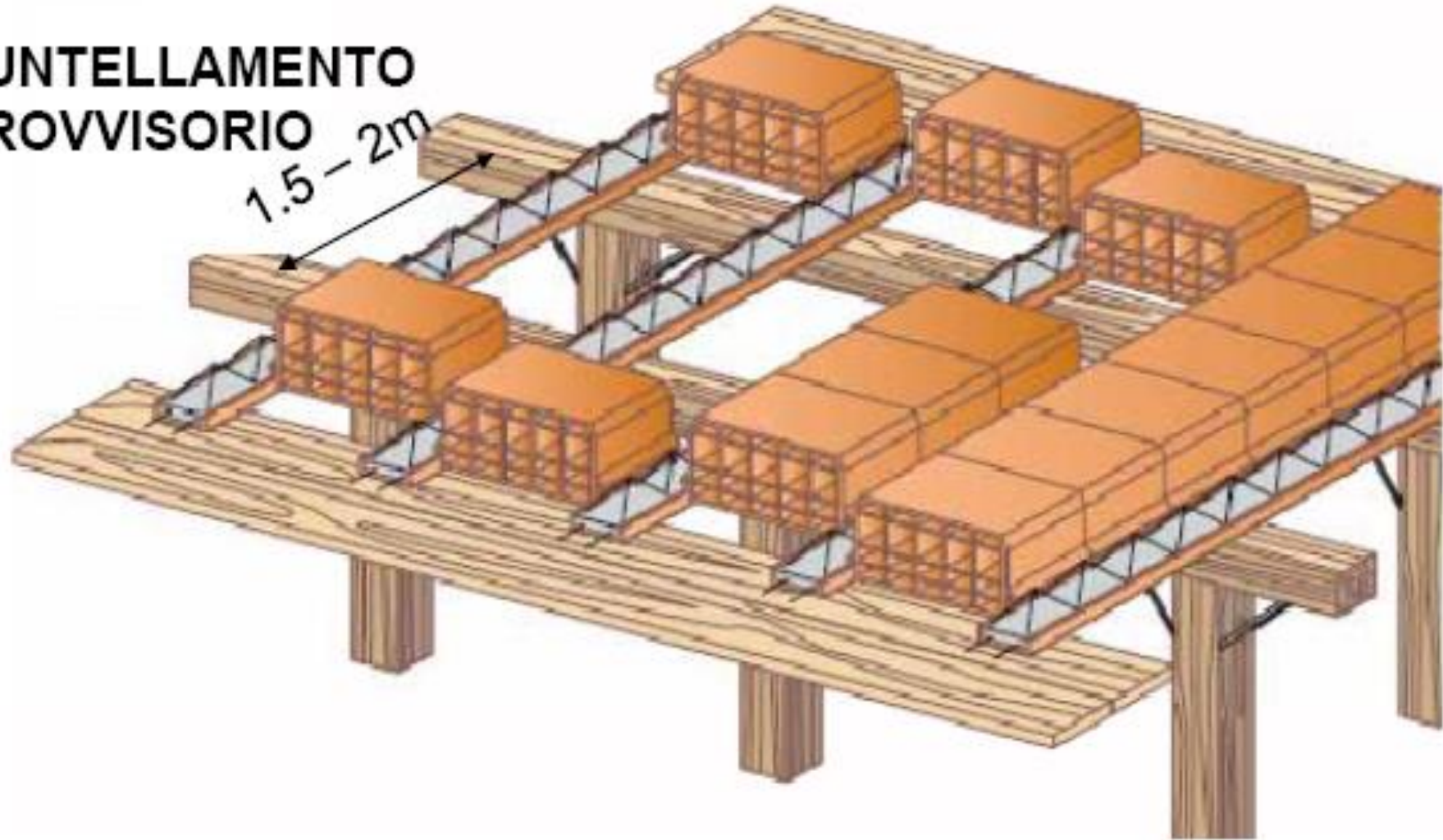
L'armatura destinata ad assorbire i momenti flettenti negativi, anche in questo caso, deve essere posizionata in opera poco prima del getto finale. I rompitratta, devono essere posti a distanze comprese tra 1,5 e 2m.

Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati

**PUNTELLAMENTO
PROVVISORIO**

1.5 - 2m



Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati



Posa in opera di solai con travetti prefabbricati a traliccio o precompressi



Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati a traliccio



Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati a traliccio



Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati precompressi



Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati precompressi



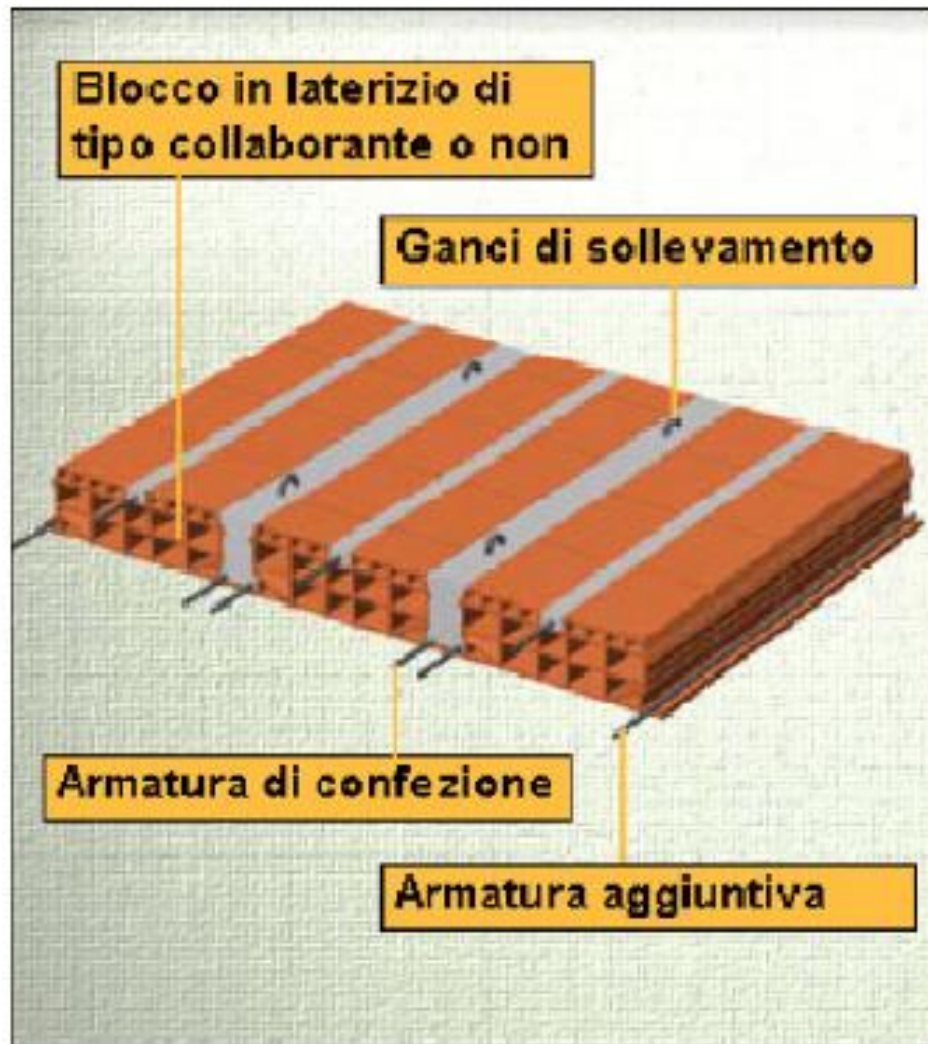
Il solaio latero-cementizio

Solai a travetti prefabbricati precompressi



Il solaio latero-cementizio

Solai a pannelli prefabbricati



I solai a pannelli prefabbricati rappresentano l'industrializzazione del solaio tradizionale.

I pannelli in latero-cemento sono costituiti dall'assemblaggio in stabilimento di due o tre file di blocchi in laterizio.

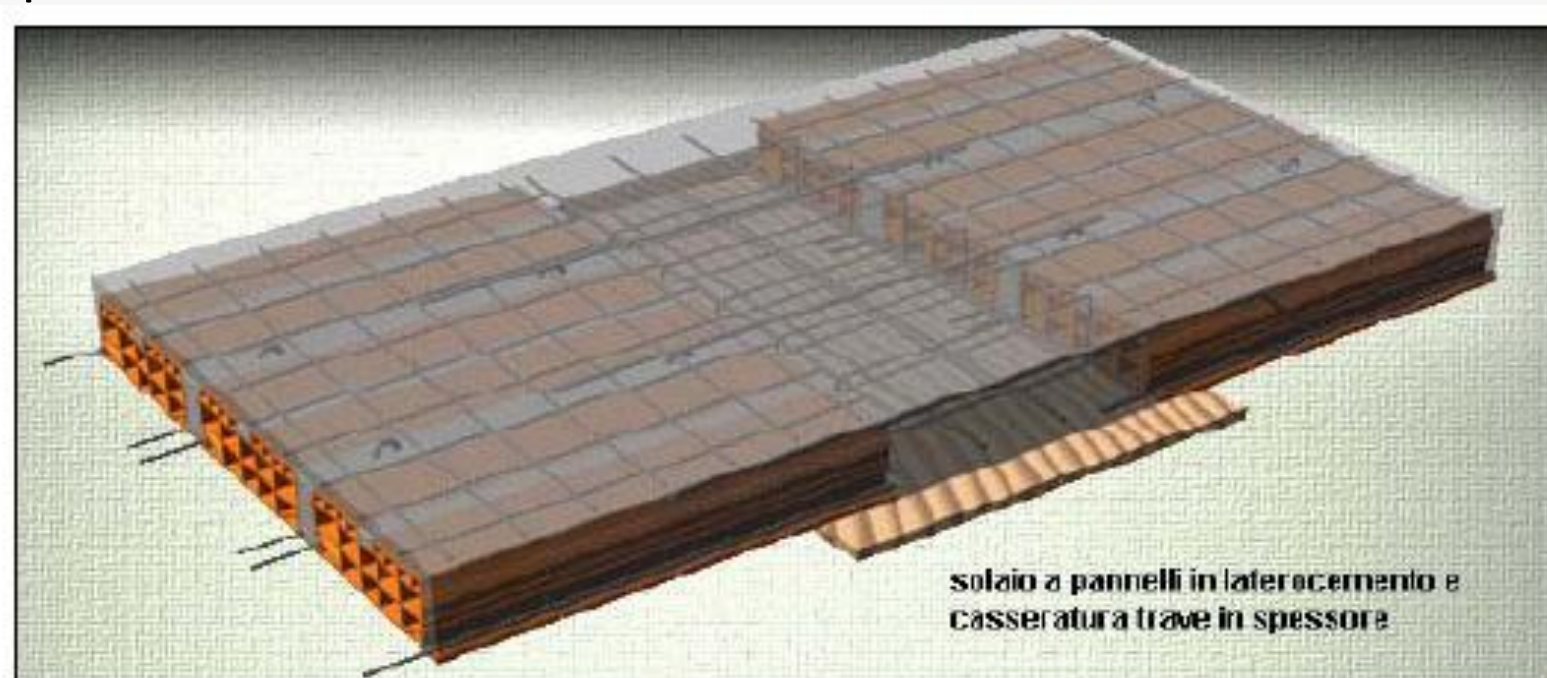
Nelle nervature del pannello sono posizionati dei ganci utilizzati per il posizionamento e la movimentazione del pannello.

Questi pannelli hanno notevoli capacità autoportanti tanto che fino a luci di 6m è sufficiente un solo rompitratta

Il solaio latero-cementizio

Solai a pannelli prefabbricati

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. Quindi 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.



Il solaio latero-cementizio

Solai a pannelli prefabbricati



Il solaio latero-cementizio

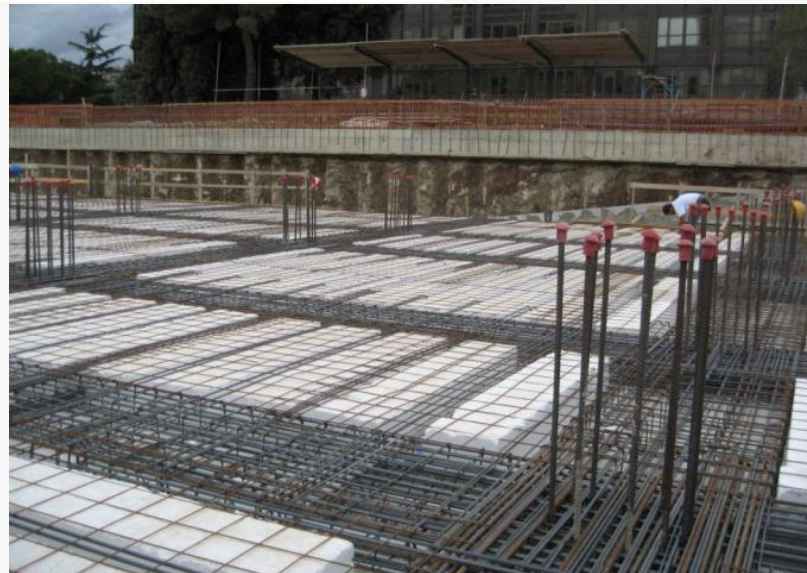
Solai a lastra in c.a o c.a.p



Questa tipologia di solaio è composta da una lastra con spessore minimo di 4cm. Gli elementi di alleggerimento possono essere in laterizio o in polistirolo espanso. L'intradosso di questi solai, in genere, non viene intonacato. Inoltre la possibilità di aumentare lo spessore della lastra rende questo solaio particolarmente adatto quando sussistono problemi di resistenza al fuoco

Il solaio latero-cementizio

Solai a lastra in c.a o c.a.p



Il solaio latero-cementizio

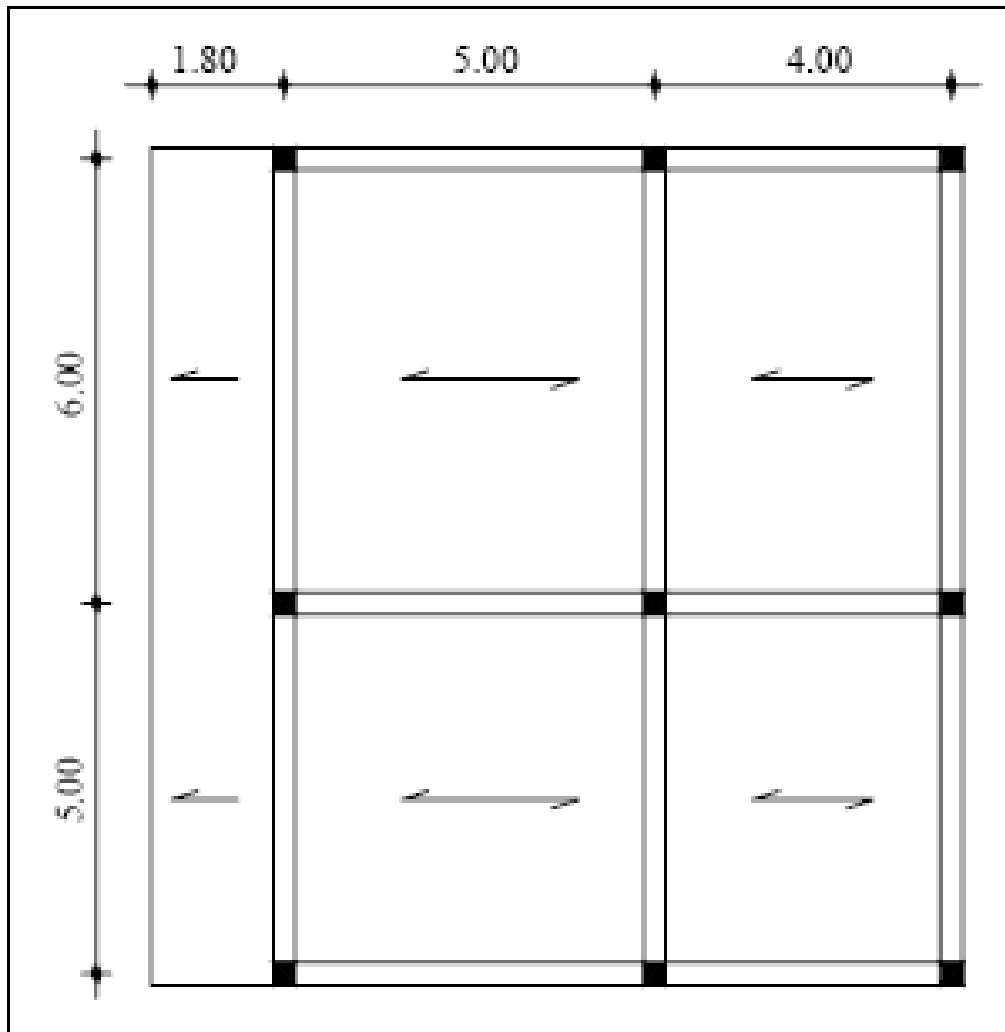


RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

<http://www.laterizio.it/>

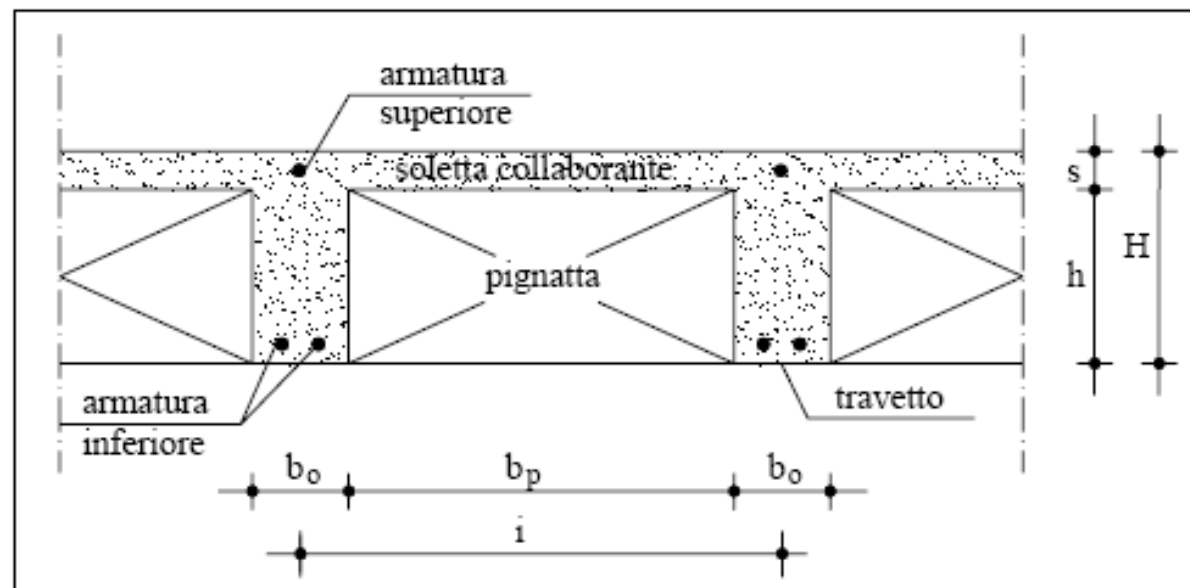
Cinuzzi, Gaudiano
Tecniche di Progettazione
Masson editore

Il predimensionamento



Dato uno schema strutturale come quello rappresentato in figura è necessario procedere con il **predimensionamento del solaio in base alla luce più grande**.

Sezione trasversale schematica di un generico solaio misto in latero – cemento.

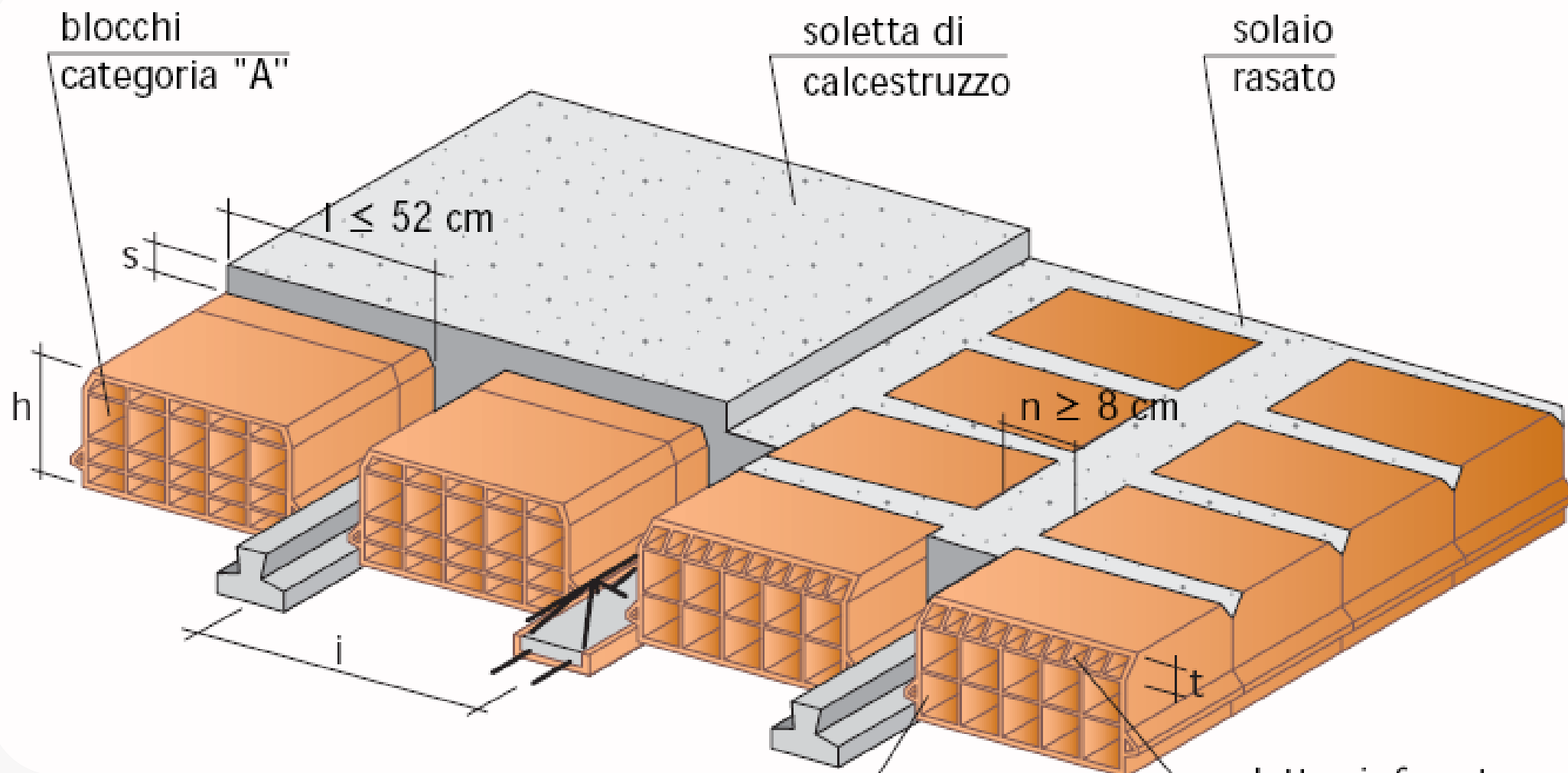


Il predimensionamento

Altezza solaio	$H > 15 \text{ cm}$	L è la luce della campata più lunga. Considerando che una pignatta non è alta meno di 12 cm, l'altezza minima del solaio è 16 cm.
Altezza soletta	$s \geq 4 \text{ cm}$	In genere non si usano solette con spessore maggiore di 5 cm., ma 4 cm è lo spessore più usuale.
Interasse travetto	$i \leq 15 s$	Un interasse usuale è $i = 50 \div 52 \text{ cm}$. a seconda di b_o , considerando una pignatta larga 40 cm.
Larghezza travetto	$b_o \geq 1/8 i$ $b_o \geq 8 \text{ cm}$	Dimensioni usuali sono $b_o = 10 \div 12 \text{ cm}$, possibilmente non più di 14 cm; la larghezza del travetto viene determinata anche in funzione delle sollecitazioni di taglio previste.
Dimensioni pignatta	$b_p \leq 52 \text{ cm}$	In genere l'altezza delle pignatte è sempre un numero pari: 12 ÷ 14 ÷ 16 cm ecc. Il minimo è 12 cm.

Il predimensionamento

DIMENSIONI MINIME DI UN SOLAIO LATERO-CEMENTIZIO



Il predimensionamento dell'altezza

Per il dimensionamento del solaio è possibile seguire due criteri:

- criteri empirici: Indicazioni fornite dalla normativa, riguardano indirettamente l'aspetto deformativo di un solaio.
- criteri analitici: Hanno per oggetto comportamenti strutturali d'insieme in quanto mirano a soddisfare in maniera esplicita i requisiti deformativi e di resistenza di un solaio.

Il predimensionamento dell'altezza

I criteri si esprimono indicando un limite inferiore dell'altezza H come porzione della luce libera del solaio L .

- criteri empirici: La normativa attuale (NTC) non dà indicazioni sull'altezza minima da rispettare. La normativa del 1996 forniva il limite inferiore pari $L/25$ per i solai non precompressi, mentre per quelli con travetti precompressi il limite scende a $L/30$.

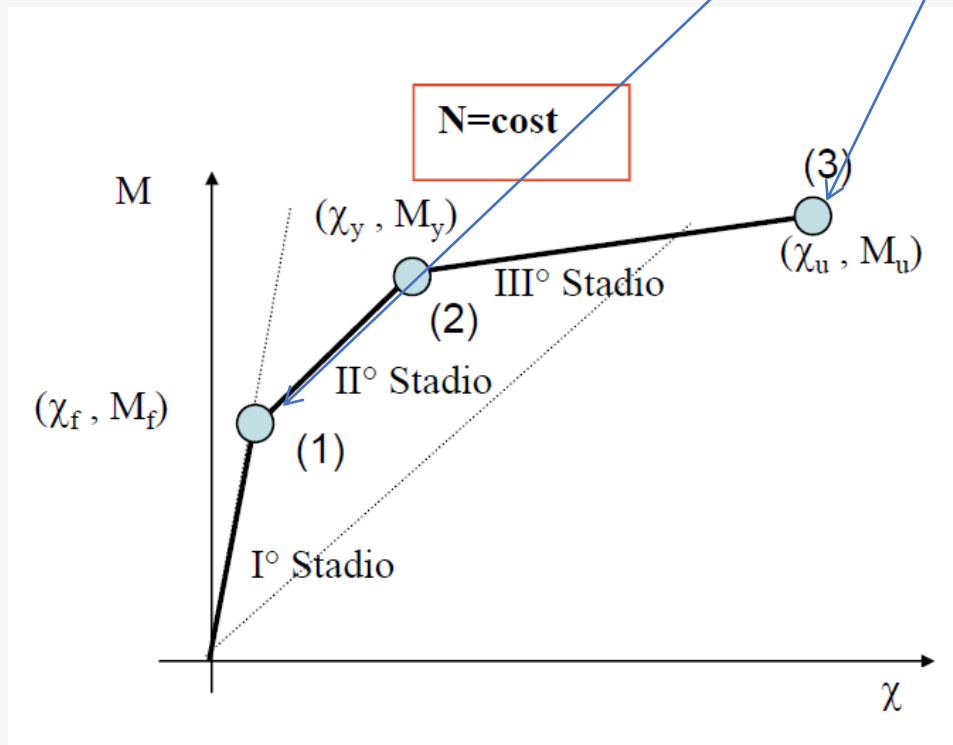
Il predimensionamento dell'altezza

criteri analitici:

- Metodi basati sulla deformabilità
- Metodi basati sulla resistenza

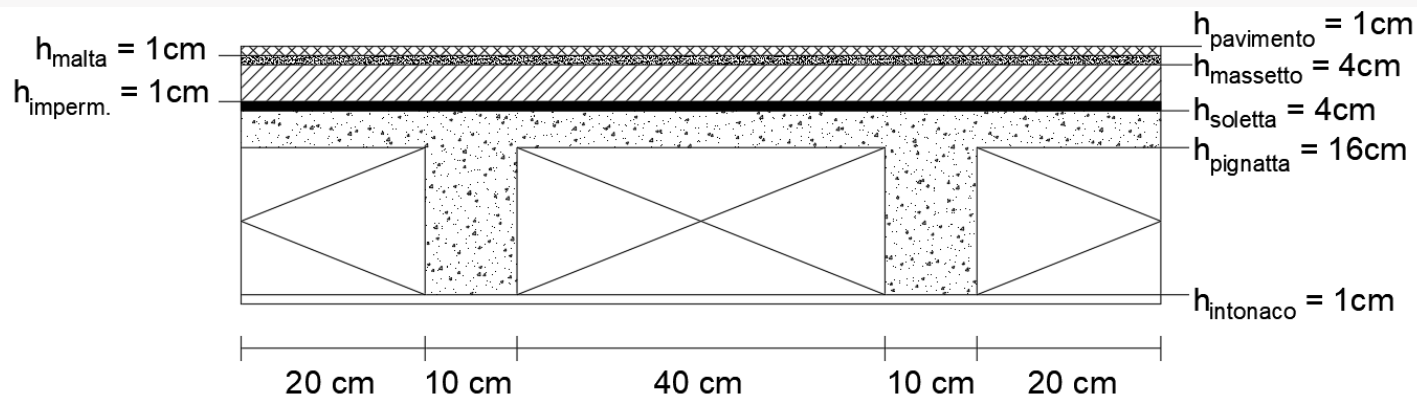
$$\delta_{\max} < \delta_{\text{adm}}$$

$$M_{\max} < M_u$$



Esempio – predimensionamento solaio

Altezza solaio	$H > 15 \text{ cm}$	L è la luce della campata più lunga. Considerando che una pignatta non è alta meno di 12 cm, l'altezza minima del solaio è 16 cm.
Altezza soletta	$s \geq 4 \text{ cm}$	In genere non si usano solette con spessore maggiore di 5 cm., ma 4 cm è lo spessore più usuale.
Interasse travetto	$i \leq 15 s$	Un interasse usuale è $i = 50 \div 52 \text{ cm}$. a seconda di b_o , considerando una pignatta larga 40 cm.
Larghezza travetto	$b_o \geq 1/8 i$ $b_o \geq 8 \text{ cm}$	Dimensioni usuali sono $b_o = 10 \div 12 \text{ cm}$, possibilmente non più di 14 cm; la larghezza del travetto viene determinata anche in funzione delle sollecitazioni di taglio previste.
Dimensioni pignatta	$b_p \leq 52 \text{ cm}$	In genere l'altezza delle pignatte è sempre un numero pari: 12 ÷ 14 ÷ 16 cm ecc. Il minimo è 12 cm.



- Pignatta **$h=16 \text{ cm}$**
- Soletta **$s=4 \text{ cm}$**
- Massetto **$h=4 \text{ cm}$**
- Isolante **$i=4 \text{ cm}$**
- Impermeabilizzazione **$h=1 \text{ cm}$**
- Intonaco **$h=1 \text{ cm}$**
- Pavimento **$h=1 \text{ cm}$**
- Malta **$h=1 \text{ cm}$**

Analisi dei carichi

Una volta predimensionato il solaio, bisogna calcolare l'entità dei:

- **Carichi permanenti**: peso del solaio, dei materiali di finitura, dei tramezzi e di eventuali altri elementi gravanti su di esso in maniera permanente (es. parapetti)
- **Carichi variabili**: a seconda della destinazione d'uso dell'edificio e del solaio stesso (locali interni, copertura, balconi ecc.)

Bisogna, in genere fare una distinzione tra solai con diverse destinazioni d'uso che si differenziano per l'entità dei carichi accidentali, per materiali di finitura e anche per dimensioni

Possono essere individuate tra tipologie diverse:

- Solai interpiano interni all'edificio
- Solai interpiano di balconi o terrazze
- Solai di copertura

Solaio interpiano

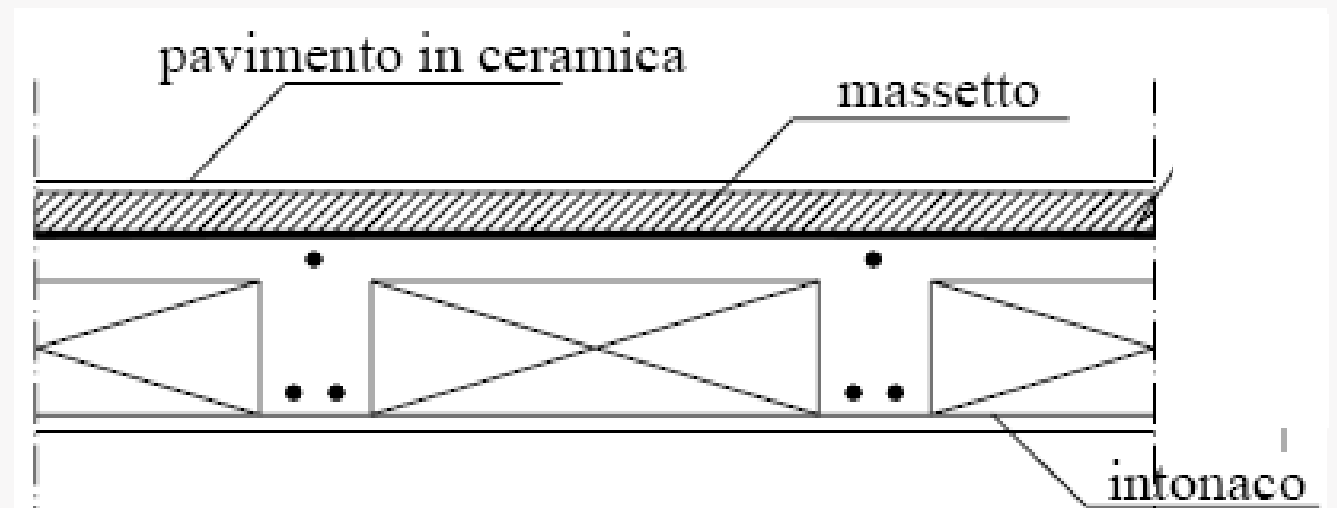
Carichi permanenti

- Soletta in cls
- Travetti
- Pignatte

Peso proprio
solaio

- Intonaco
- Massetto
- Pavimento

Sovraccarichi
permanenti



- Tramezzature

- per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Solaio interpiano

Carichi permanenti: peso proprio solaio

G_{sk} = porzione in c.a. + peso elementi di alleggerimento

peso del c.a. = 25.00 kNm^{-3}

Il peso degli elementi di alleggerimento in laterizio dipende invece dal tipo di laterizio stesso. Una misura ragionevole del peso medio dell'insieme pignat-travetti è pari a circa 10.00 kNm^{-3} .

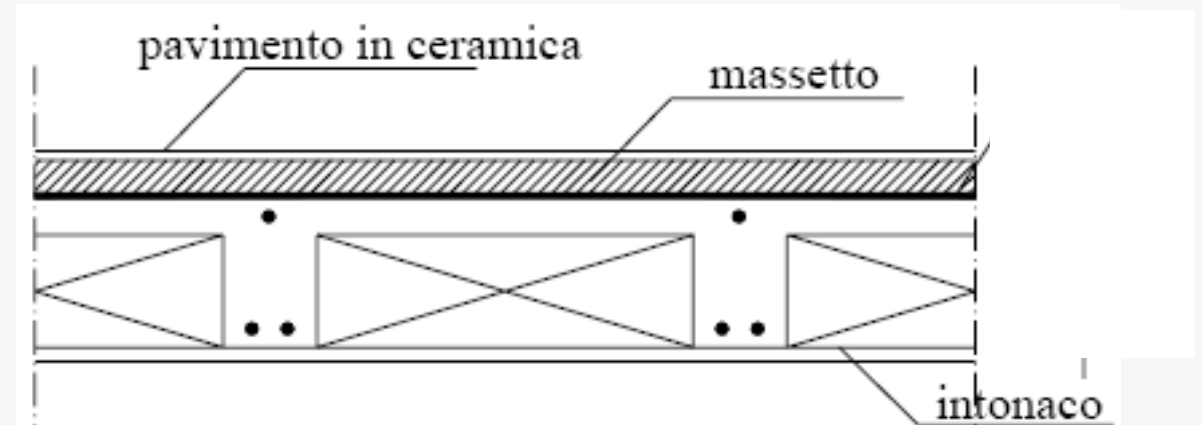
Solaio interpiano

Carichi permanenti: peso proprio solaio

Il peso proprio di un solaio può essere calcolato secondo 2 modalità:

$$1. G_{sk} [kNm^{-2}] = 25.00 \times s + 10.00 \times (H - s)$$

← soletta pignatte-travetti ↓



$$2. G_{sk} [kNm^{-2}] = g_s + g_t + g_p$$

soletta $g_s [kN/m^2] = 25.0 * s$

travetti $g_t [kN/m^2] = 25.0 * (H - s) * 0.2/1.0$

pignatte $g_p [kN/m^2] = 8.0 * (H - s) * 0.8/1.0$

Peso pignatte variabile tra 5 e 8 kN/m³

Solaio interpiano

Sovraccarichi permanenti di uso corrente nella pratica professionale:

- pavimento: $0.30 \div 0.55 \text{ kNm}^{-2}$
- malta di allettamento e caldana per
isolamento termoacustico,
alloggiamento reti tecnologiche e
formazione di pendenze: $19.00 \div 21.00 \text{ kNm}^{-3}$
- impermeabilizzazione: $\sim 0.30 \text{ kNm}^{-2}$
- intonaco: $\sim 0.30 \text{ kNm}^{-2}$
- controsoffitto: $0.30 \div 1.00 \text{ kNm}^{-2}$
- isolamento termico: $\sim 0.05 \text{ kNm}^{-2}$
- tramezzi: $0.40 \div 2.00 \text{ kNm}^{-2}$

Solaio interpiano

Incidenza tramezzi

I tramezzi e gli impianti leggeri degli edifici per abitazioni e per uffici potranno assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, purché i solai abbiano adeguata capacità di ripartizione trasversale.

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e per uffici, il peso proprio di elementi divisorii interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente uniformemente distribuito g_2 , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito g_2 potrà essere correlato al peso proprio per unità di lunghezza G_2 delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisorii con $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisorii con $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisorii con $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisorii con $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisorii con $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$.

Gli elementi divisorii interni con peso proprio maggiore di $5,00 \text{ kN/m}$ devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.

Solaio interpiano

NTC2018 - par.3.1.3.

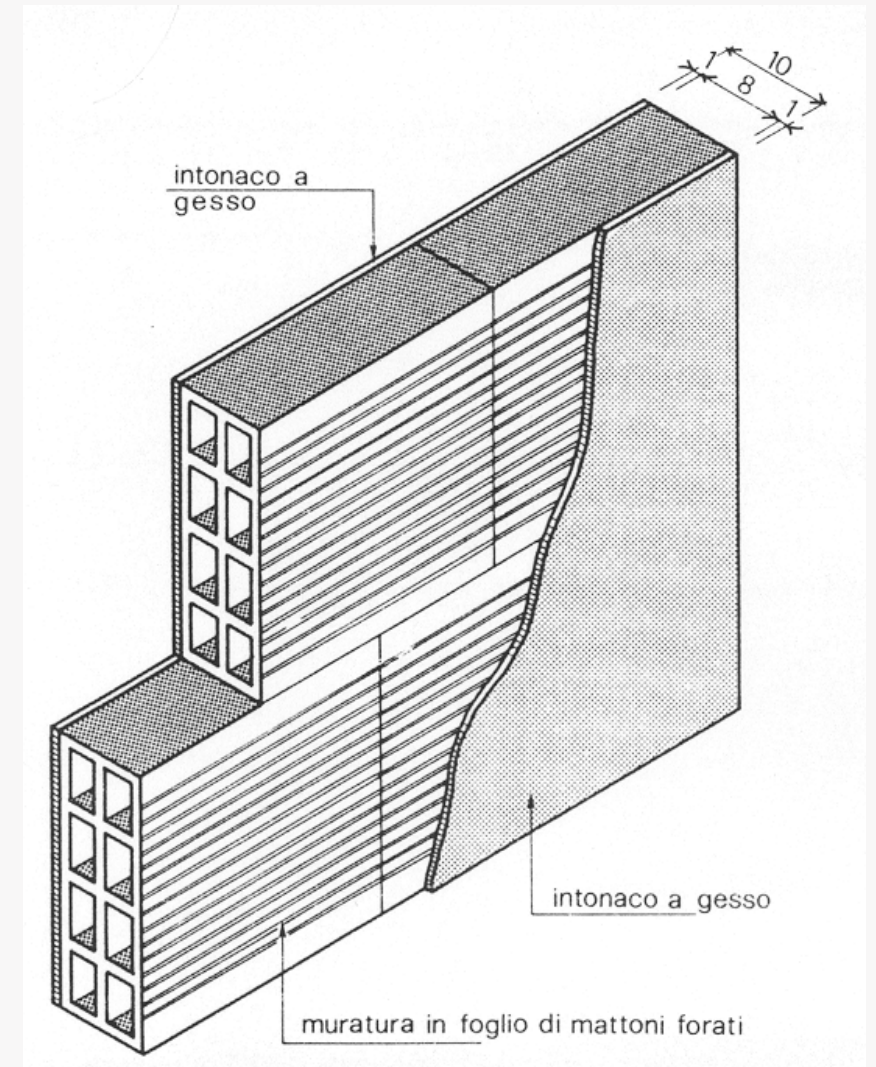
Incidenza tramezzi

muratura in mattoni forati per tramezzi interni

<i>componenti</i>	<i>s [m]</i>	γ [kNm ⁻³]	<i>pesi</i> [kNm ⁻²]
muratura in mattoni forati	0.080	11.00	0.880
intonaco interno a gesso	2x0.010	12.00	0.240
arrotondamento	-	-	0.030
totale			1.150

$$G_2 = 1,15 \frac{kN}{m^2} h_{tramezzo} = 1,15 \cdot 2,7m = 3,105 \frac{kN}{m}$$

- per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00$ kN/m : $g_2 = 0,40$ kN/m²;
- per elementi divisori con $1,00 < G_2 \leq 2,00$ kN/m : $g_2 = 0,80$ kN/m²;
- per elementi divisori con $2,00 < G_2 \leq 3,00$ kN/m : $g_2 = 1,20$ kN/m²;
- **per elementi divisori con $3,00 < G_2 \leq 4,00$ kN/m : $g_2 = 1,60$ kN/m²;**
- per elementi divisori con $4,00 < G_2 \leq 5,00$ kN/m : $g_2 = 2,00$ kN/m².



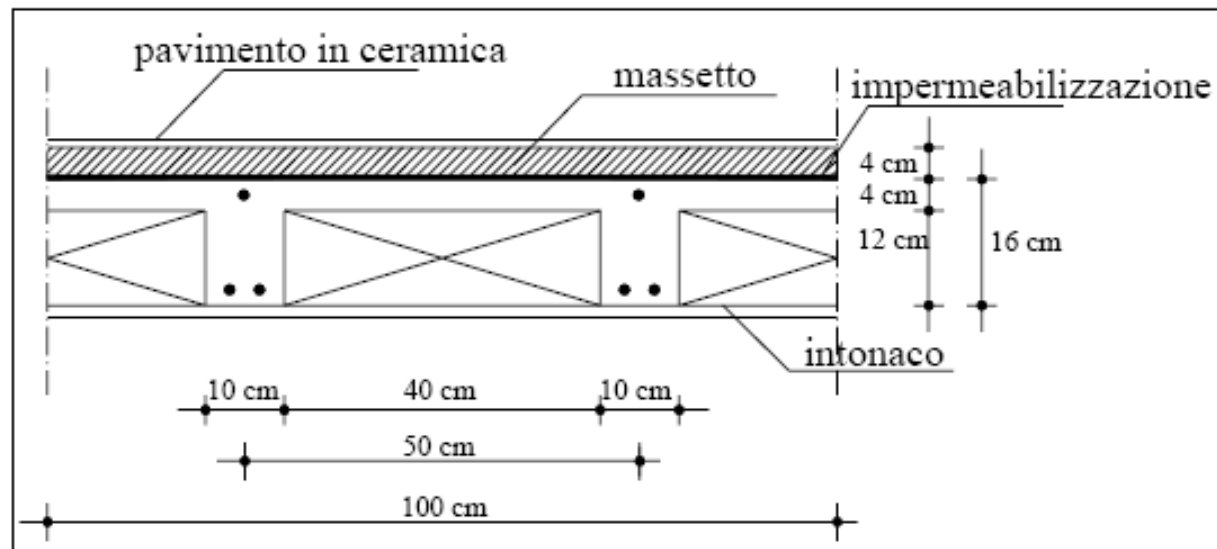
Solaio balcone

SOLAIO INTERPIANO – BALCONE

$$\Rightarrow H_b = H - 4 \text{ cm} = 16 \text{ cm}$$

L'altezza del solaio, in genere, viene ridotta di circa 4 cm per evitare problemi di ingresso delle acque all'interno dell'edificio.

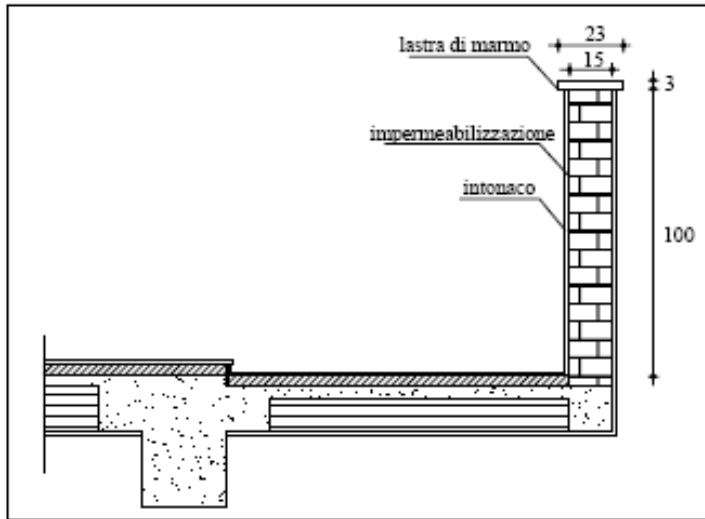
ATTENZIONE: l'altezza di un solaio non può essere inferiore a 16 cm. In caso, si rinuncia a ridurre H incrementando, semmai, l'altezza del massetto del solaio interno usando una malta di argilla espansa (12 kN/mc).



Particolare attenzione bisogna porla, inoltre, quando si ha una terrazza molto ampia poichè deve essere sempre rispettata la norma $H \geq L_{ter}/25$

Solaio balcone

PESO PARAPETTO



Analisi dei carichi permanenti del solaio interpiano – parapetto del balcone a sbalzo: valore caratteristico relativo al peso di una porzione profonda un metro

Materiale	h (m)	L (m)	S (m)	P (kN/mc)	P (kN/mq)	P (kN/m)
Muratura piena	1		0.15	18		2.70
Lastra di marmo	(0.03)		0.23		0.8	0.18
Intonaco	1		(0.015)		0.3	0.3
Impermeabilizzazione	1				0.3	0.3
TOTALE					0.4	3.48

Solaio di copertura

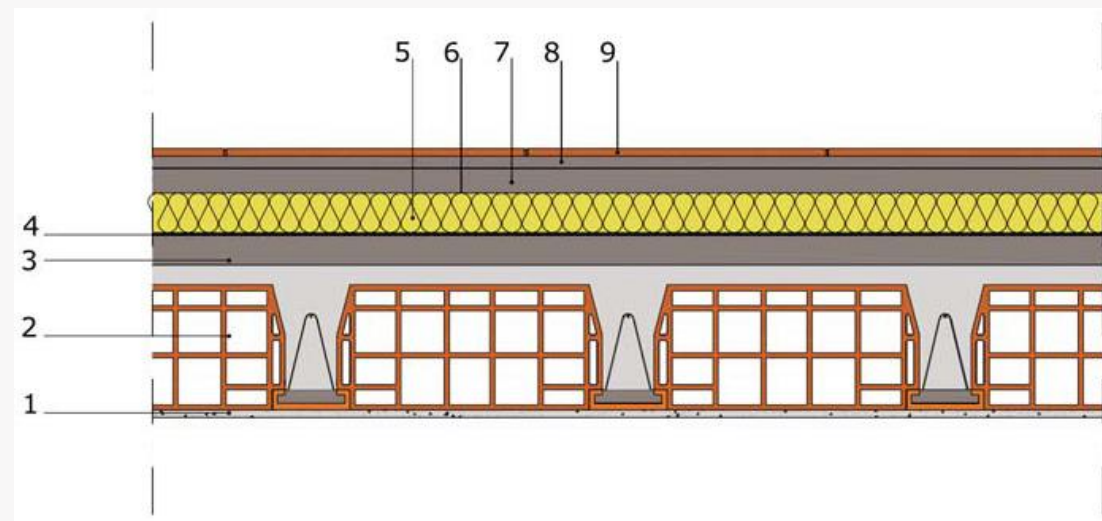
L'analisi dei carichi di un solaio di copertura non differisce sostanzialmente da quella riportata nell'esempio, ma bisogna tenere presente che:

- Il solaio non presenta dislivelli strutturali, quindi l'altezza H è sempre quella di calcolo.
- E' da prevedere un manto d'impermeabilizzazione ovunque.
- E' necessario tenere conto del peso di parapetti o cornicioni, se presenti.
- Non vi sono tramezzi

Solaio di copertura

Esempio di copertura piana

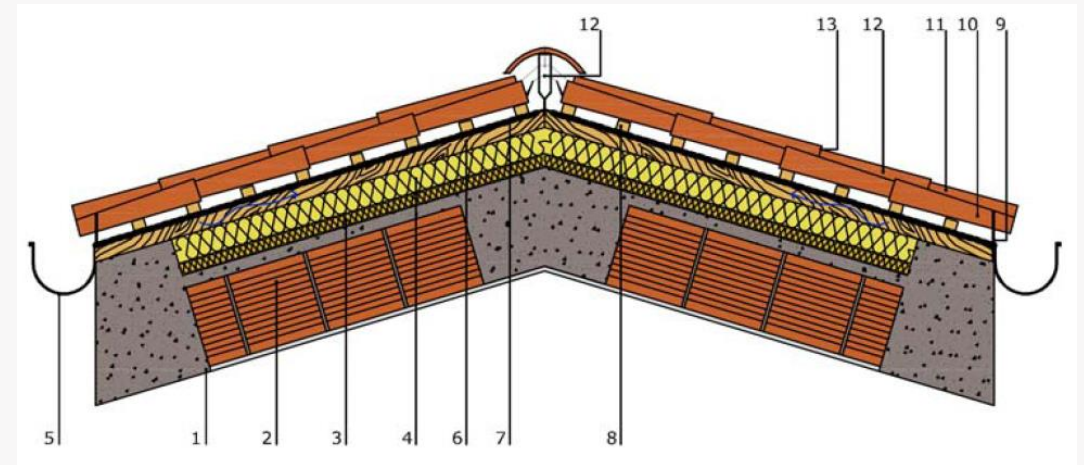
1. strato di rivestimento interno in intonaco di calce-cemento, sp. 15 mm
2. struttura portante in laterocemento a travetti e blocchi interposti, sp. 250+40
3. massetto di pendenza in cls alleggerito con argilla espansa, sp. 40 mm
4. strato di barriera al vapore
5. pannello isolante, sp. 80 mm
6. membrana impermeabilizzante
7. strato di ripartizione in calcestruzzo, sp. 50 mm
8. malta di sottofondo, sp. 20 mm
9. pavimentazione in laterizio, sp. 15 mm



Solaio di copertura

Esempio di copertura inclinate

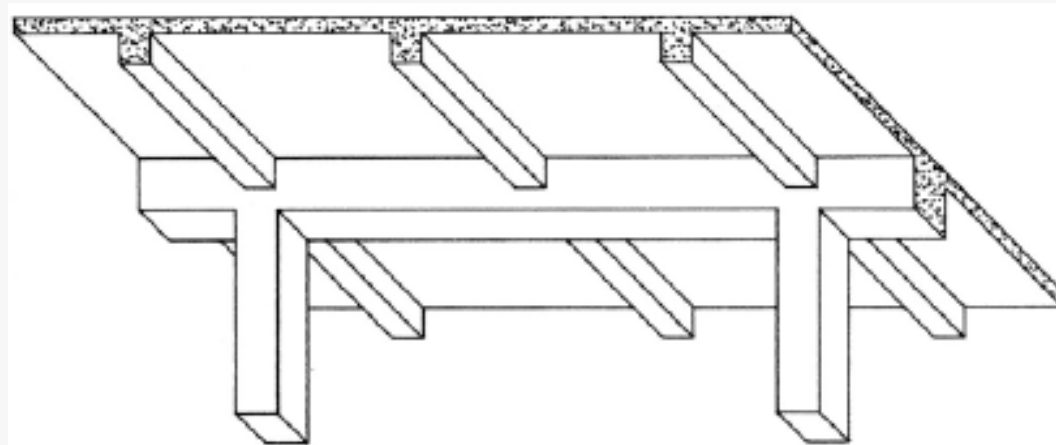
1. strato di rivestimento interno in intonaco di calce-cemento, sp. 15 mm (0,3 kN/mq)
2. Solaio in laterocemento (2.5-3.5 kN/mq)
- 3-4 pannelli isolanti (0,1 kN/mq)
5. elemento di gronda
6. listellatura perpendicolare alla linea di gronda, sp. 30x40 mm
7. membrana traspirante impermeabilizzante posata sopra la listellatura
8. listellatura parallela alla linea di gronda, sp. 30x40 mm
9. griglia antivolatile di gronda con funzione di rialzo della prima fila di coppi
- 10-11-12 Manto di Copertura (coppi) (0,3 kN/mq)



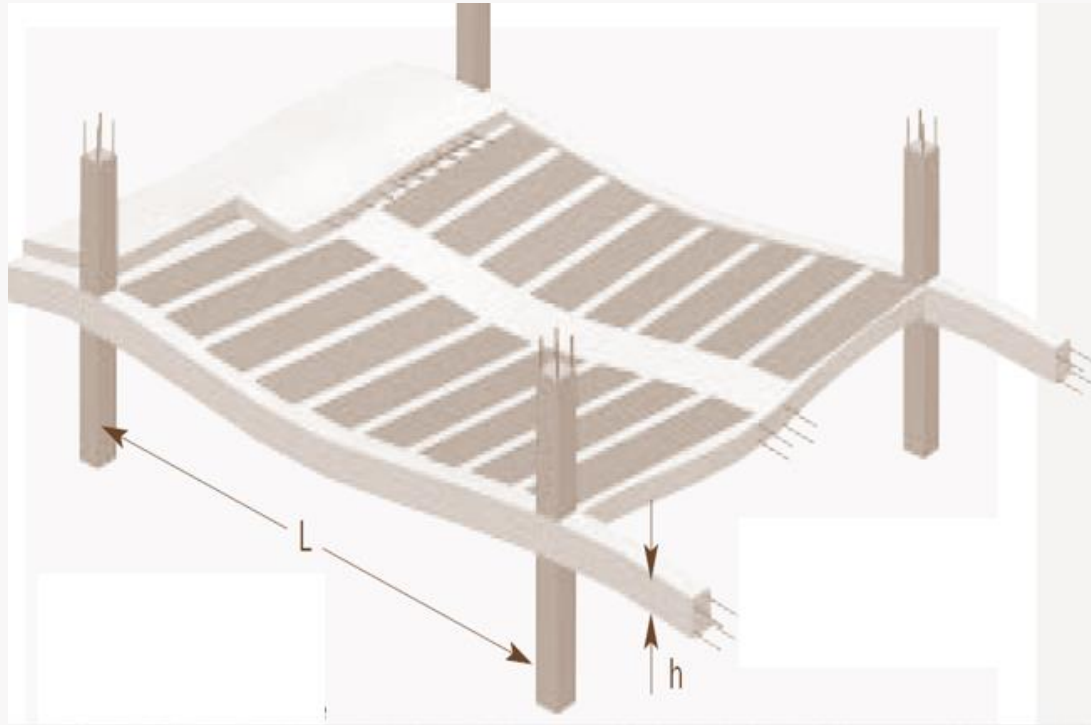
0,2 kN/mq

Modellazione del solaio latero cementizio

Il solaio è una **piastra ortotropa**, cioè si comporta in modo molto diverso nelle due direzioni principali x e y , però la rigidezza della struttura nella direzione della tessitura dei travetti (x) è decisamente superiore alla rigidezza nella direzione ortogonale (y) come è facile comprendere osservando la conformazione del solaio monolitico senza alleggerimenti intermedi. Ciò consente di trascurare le sollecitazioni secondo l'asse y e approssimare il comportamento del solaio con quello di una trave continua su appoggi fissi costituiti dalle strutture che lo portano, ovvero le travi (o eventuali pareti). Ovviamente si tratta di una schematizzazione della struttura molto semplice, ma che si avvicina, con sufficiente approssimazione alla realtà.

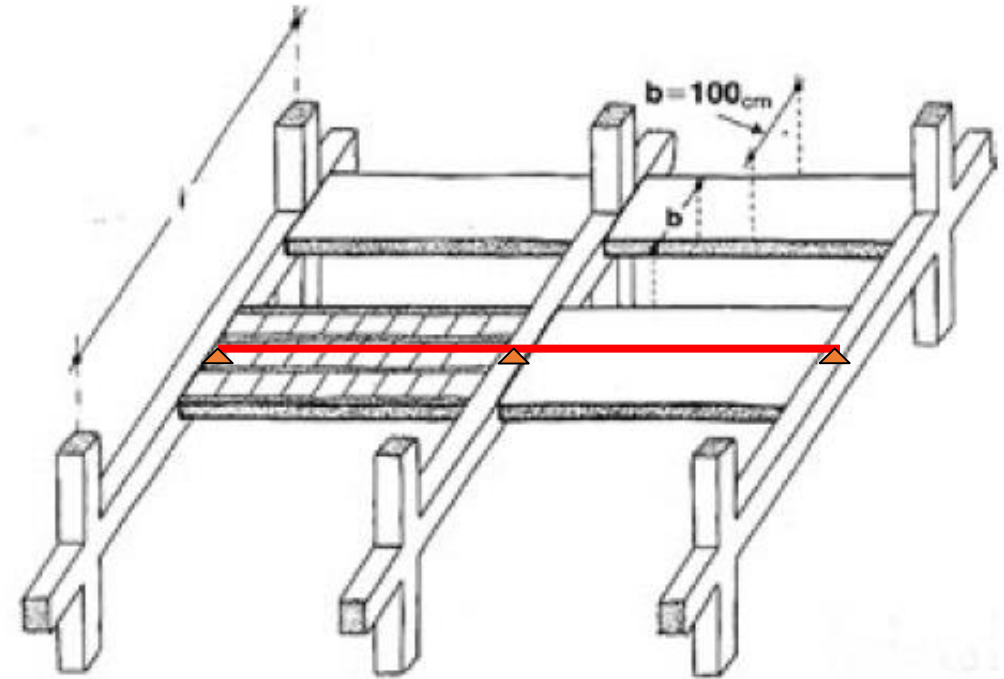


Modellazione del solaio latero cementizio



Comportamento bidimensionale (piastra ortotropa)

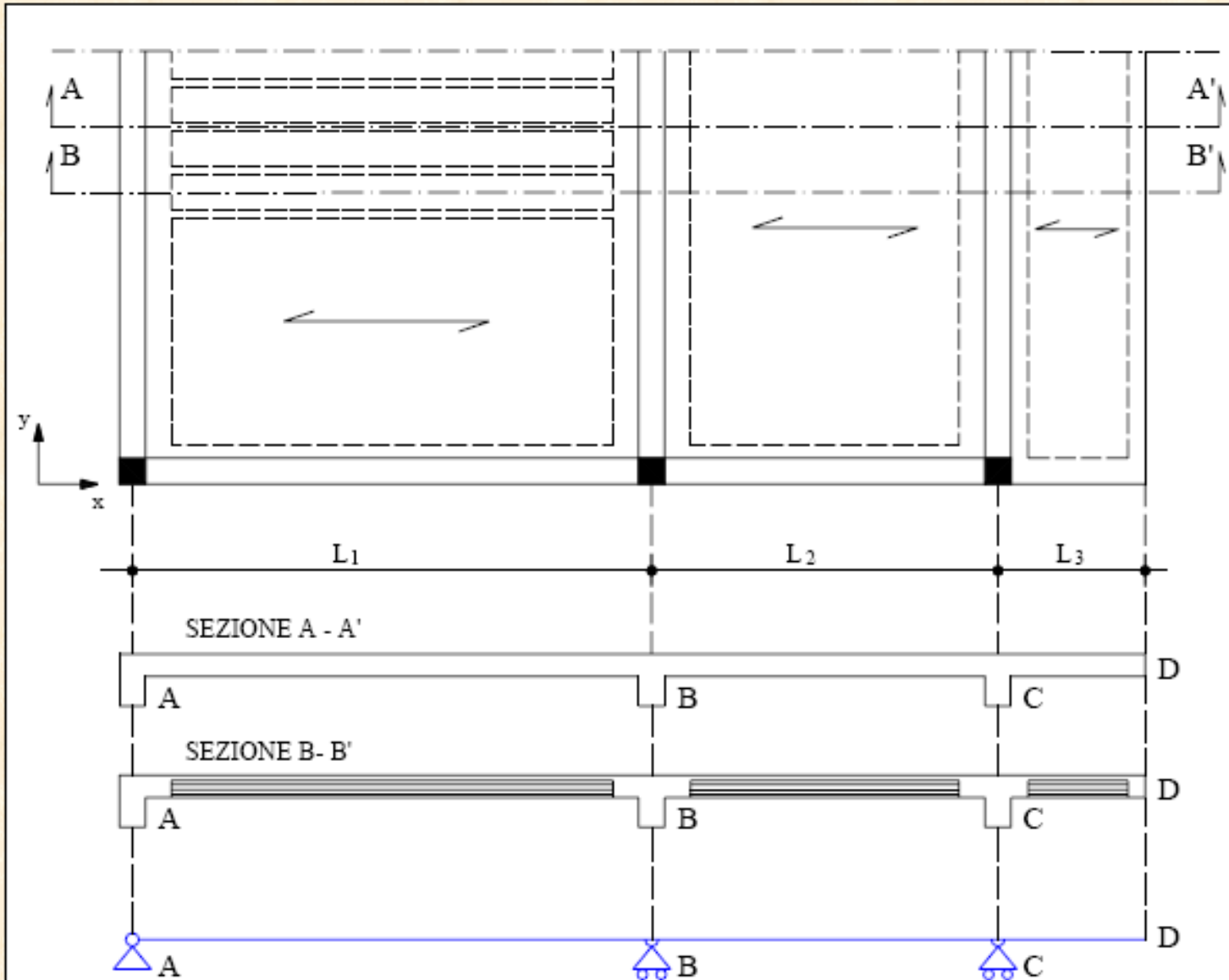
I carichi vengono ripartiti sulle travi in funzione della rigidezza della piastra nelle due direzioni e dei vincoli di bordo



Schema monodimensionale (trave continua)

I carichi vengono ripartiti sulle travi sulle travi ortogonali alla direzione di tessitura

Modellazione del solaio latero cementizio

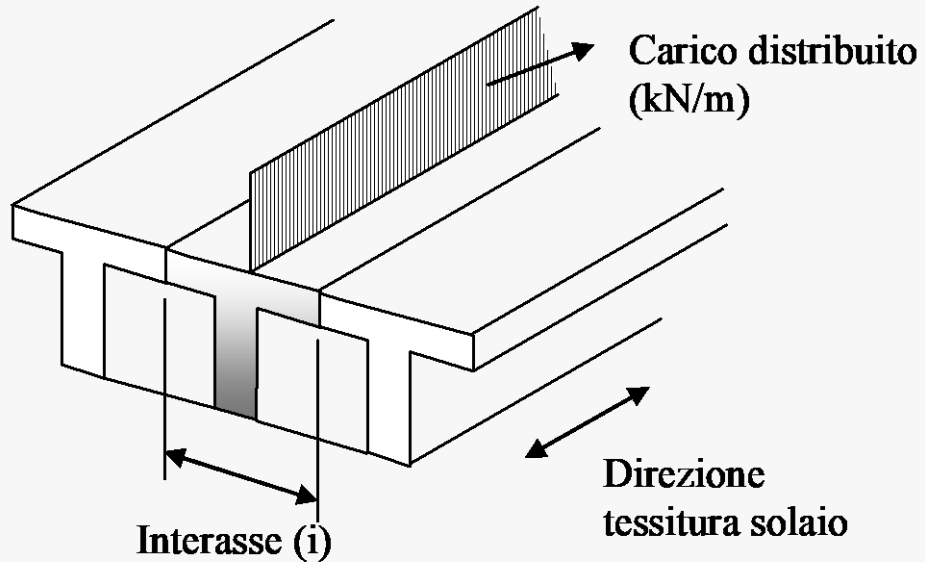


Schema strutturale

Sezioni Longitudinali

Trave Continua

Modellazione del solaio latero cementizio

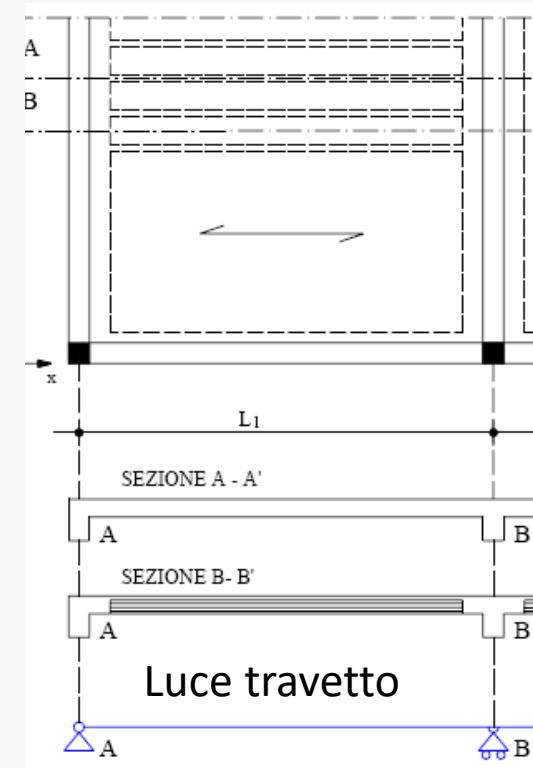


GEOMETRIA

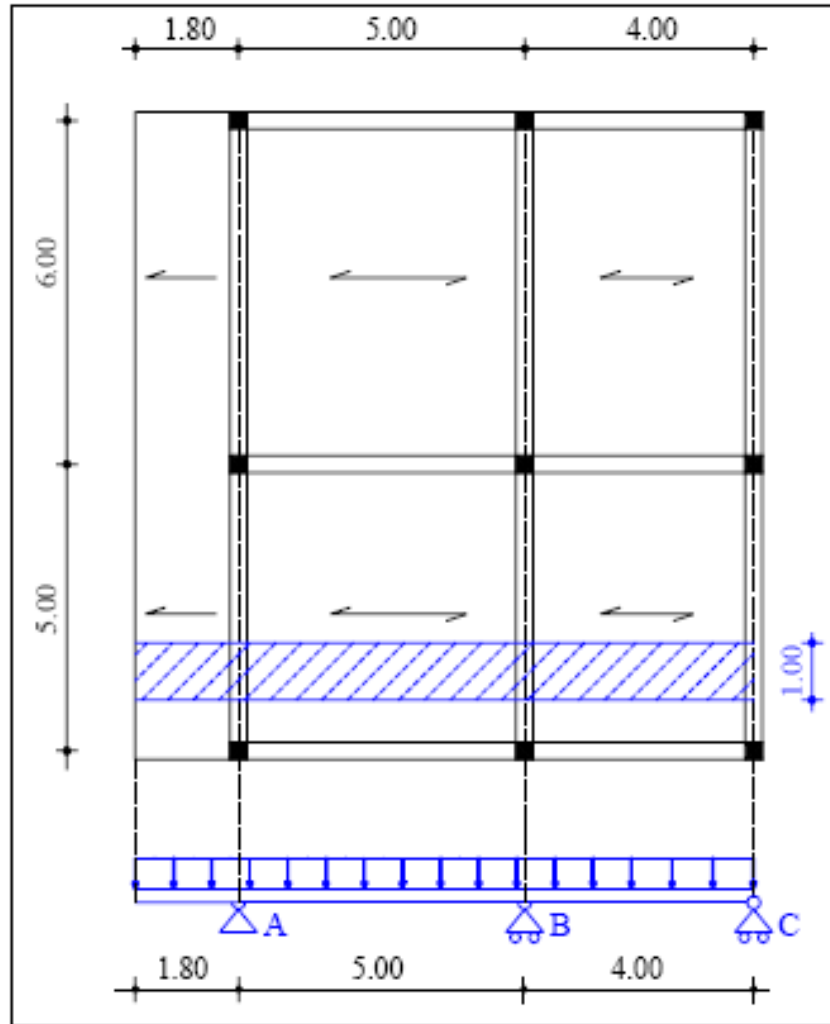
Adottando il modello di trave continua, le luci delle singole campate dei travetti vengono in genere assunte pari alla distanza tra gli interassi delle travi.

DETERMINAZIONE DEI CARICHI

I carichi sono considerati distribuiti linearmente sul travetto (ad es. kN/m). Essi vengono in genere riferiti ad un metro di solaio (in direzione trasversale). In tal caso il carico distribuito è esattamente il carico a mq del solaio. In alternativa si può considerare una larghezza pari all'interasse dei travetti. In tal caso il carico lineare è pari al carico a mq moltiplicato per l'interasse (i)



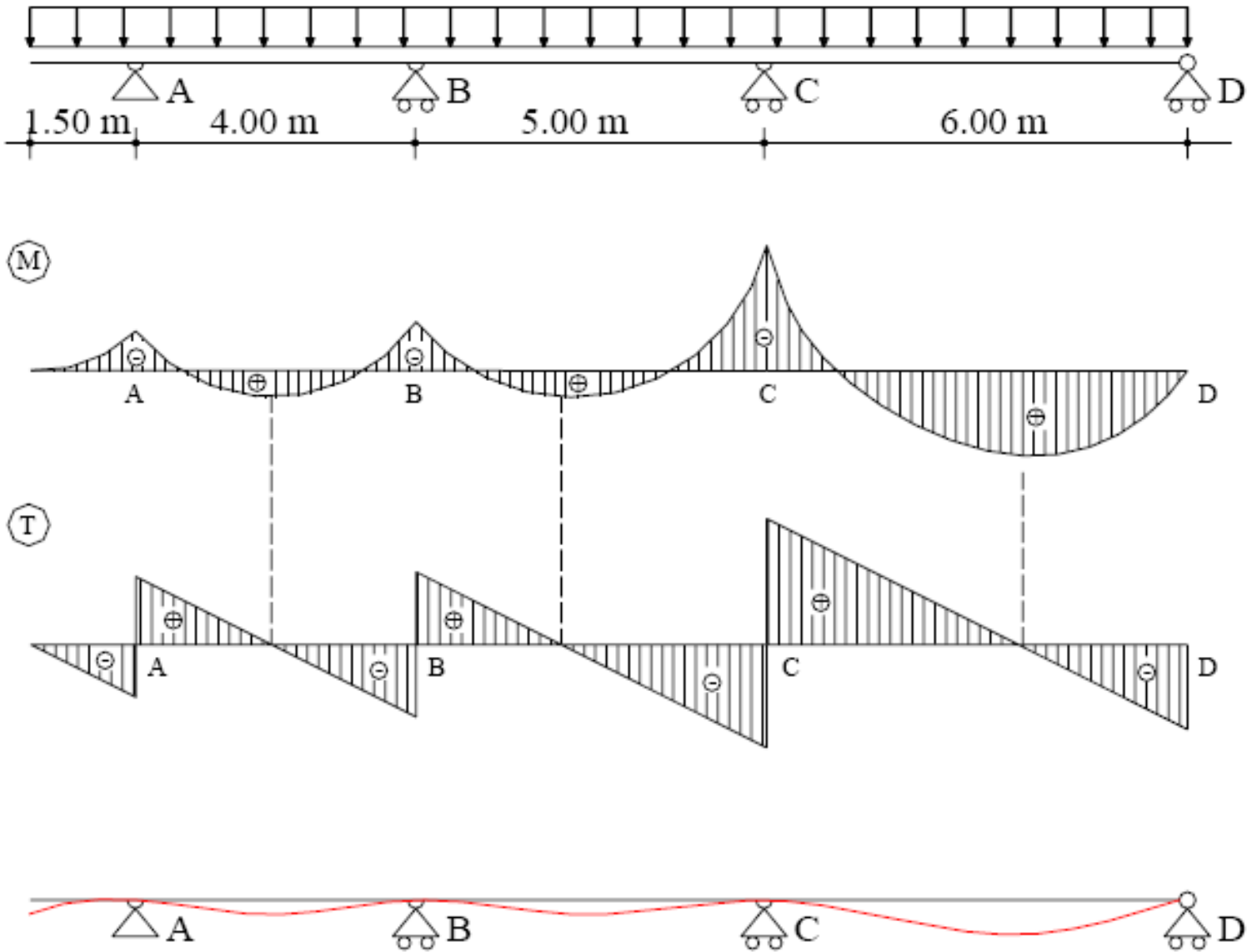
Modello di trave continua



Per comodità, ai fini dell'analisi dei carichi, si può considerare che la trave continua corrisponda ad una fascia di solaio larga 1 m. Una volta predimensionato il solaio, bisogna calcolare l'entità dei:

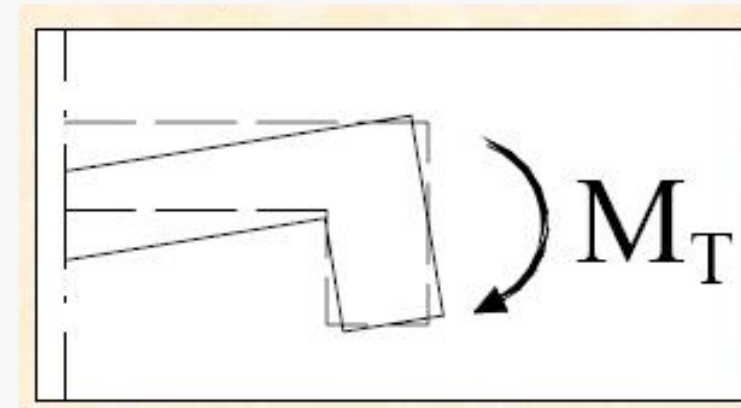
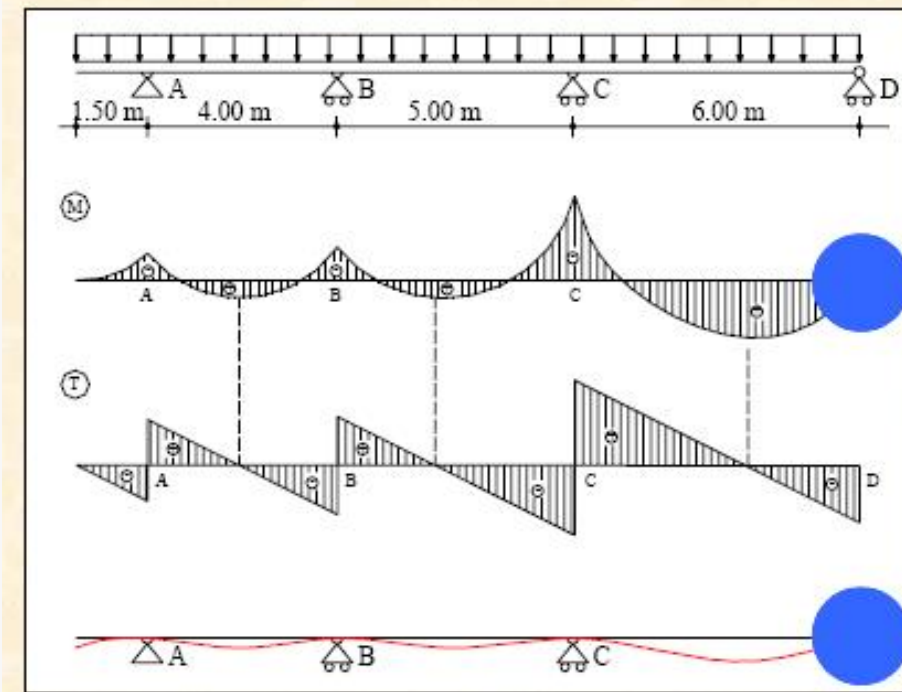
- Carichi permanenti: peso del solaio, dei materiali di finitura, dei tramezzi e di eventuali altri elementi gravanti su di esso in maniera permanente (ex. parapetti)
- Carichi variabili: a seconda della destinazione d'uso dell'edificio e del solaio stesso (locali interni, copertura, balconi ecc.)

Modello di trave continua



Modello di trave continua – scelta dei vincoli

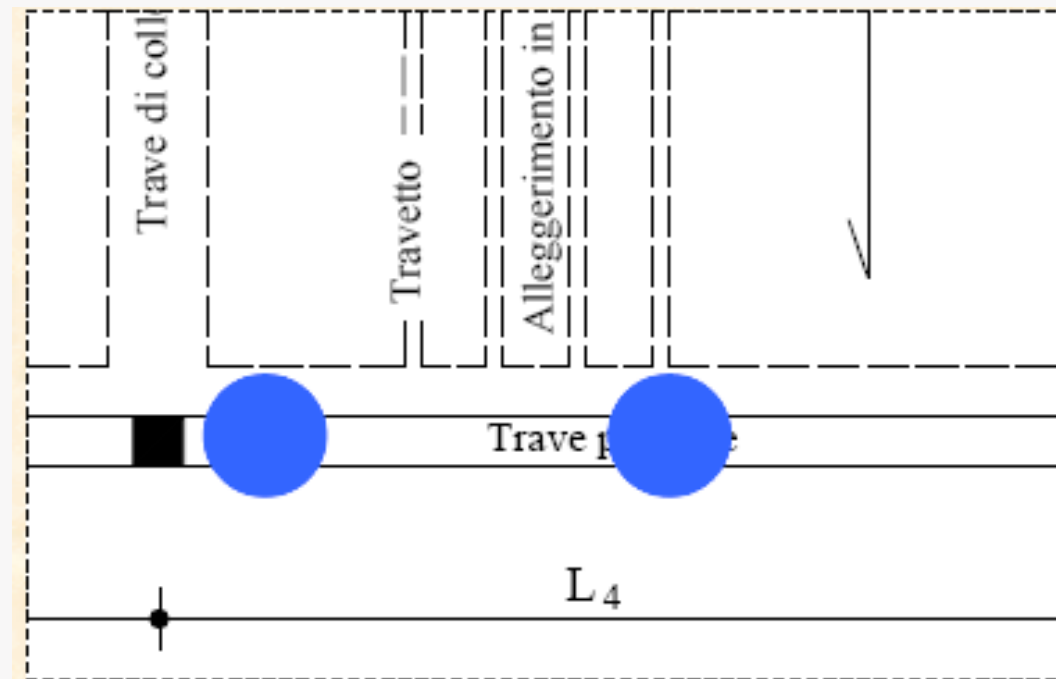
Per quanto riguarda la scelta dei vincoli, è necessario fare alcune precisazioni sull'inserimento di una cerniera all'estremità libera del solaio, cioè dove quest'ultimo si interrompe **poggiando su una trave di bordo**. La cerniera presuppone che il solaio sia completamente libero di ruotare in quel punto. Di fatto non è così, poiché la trave è dotata di una propria rigidità torsionale e, quindi, in parte consente la rotazione del solaio e in parte la impedisce con conseguente sviluppo di un momento torcente (Semincastro)



Modello di trave continua – scelta dei vincoli

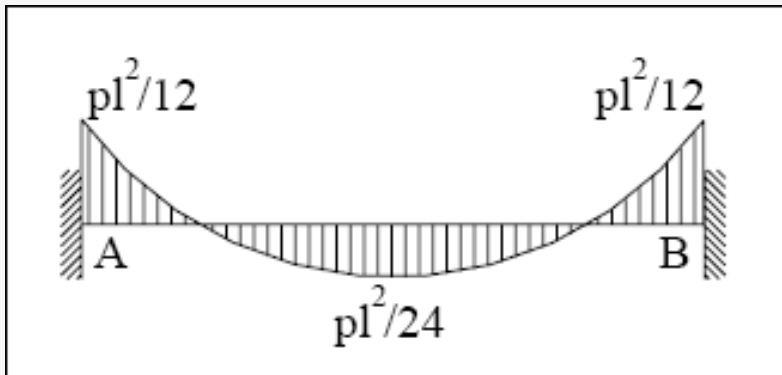
La rigidezza torsionale della trave, inoltre, è tanto maggiore quanto più ci si avvicina al pilastro di conseguenza il comportamento del solaio cambia a seconda della posizione del travetto:

- In corrispondenza della mezzeria della trave il comportamento reale è più vicino a quello della cerniera;
- In corrispondenza dell'estremità della trave il comportamento reale è più vicino a quello dell'incastro.



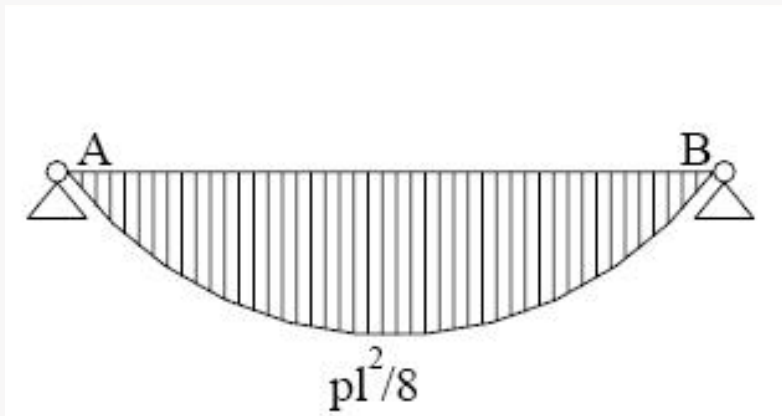
Modello di trave continua – scelta dei vincoli

Dovendo, quindi, scegliere, ai fini della modellazione, un vincolo piuttosto che un altro, è buona norma, poiché a favore della sicurezza, prendere come riferimento lo schema con minor grado di iperstaticità:



TRAVE INCASTRATA:

- > Momento in mezzeria basso
- > armatura sotto-dimensionata
- > Momenti agli estremi alto
- > Armatura sopra-dimensionata

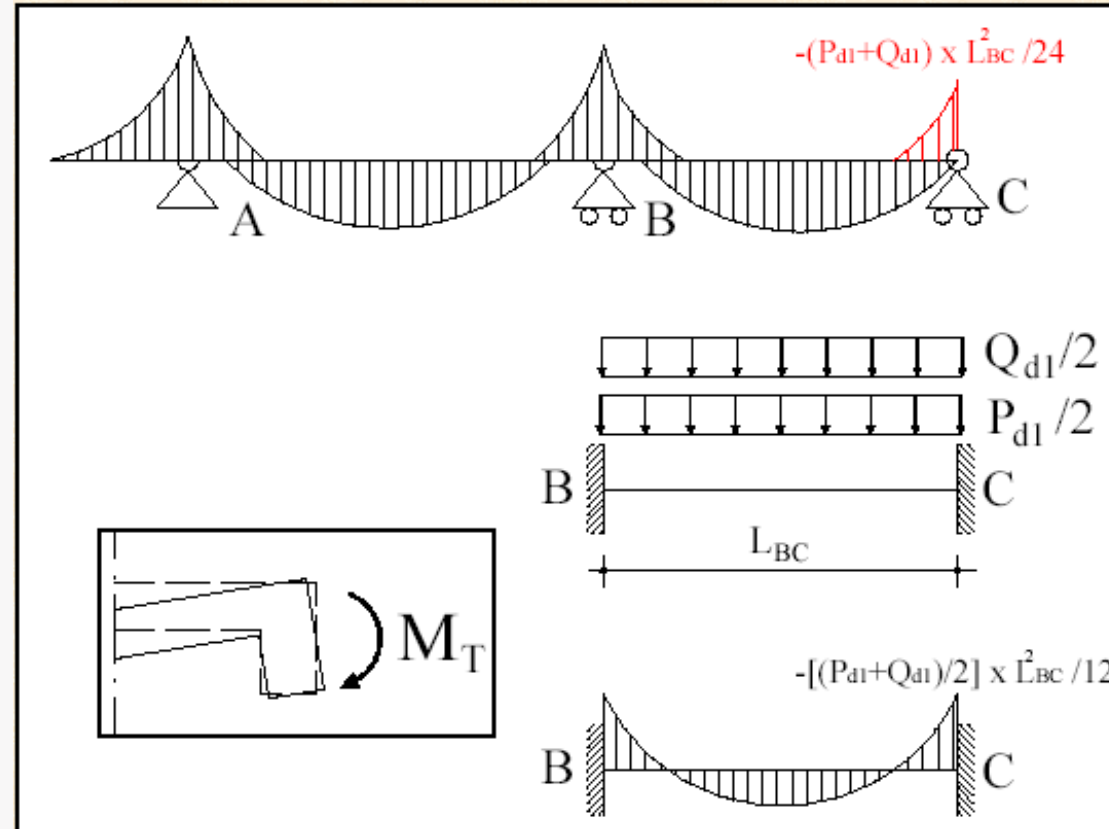


TRAVE INCERNIERATA:

- > Momento in mezzeria alto
- > armatura sopra-dimensionata
- > Momenti agli estremi nullo
- > Armatura sotto-dimensionata

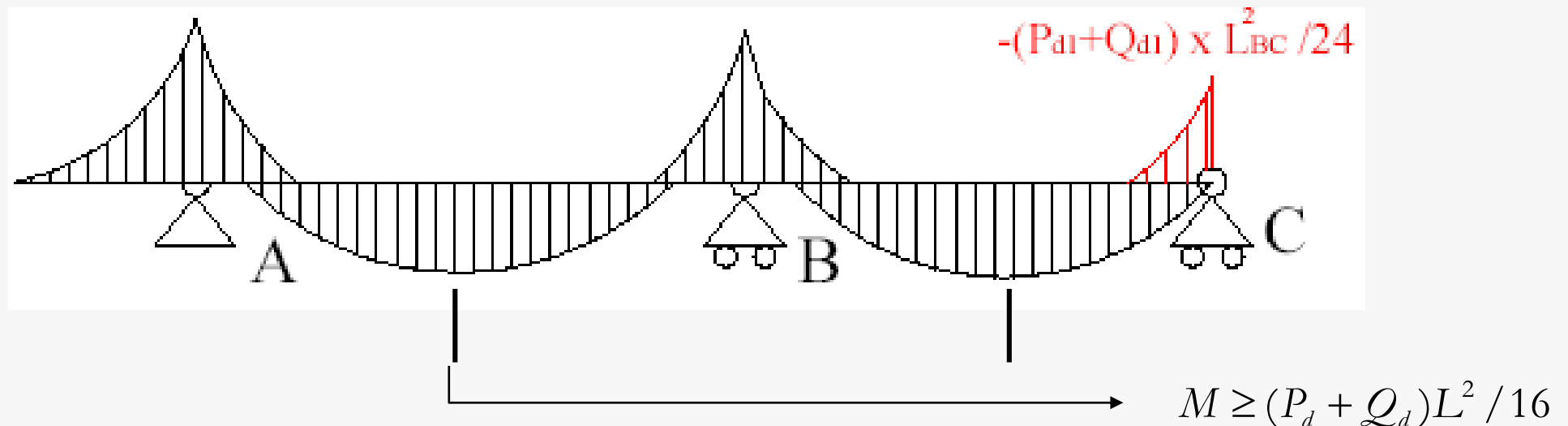
Modello di trave continua – correzione del modello

La cerniera di estremità della trave continua, a momento nullo, rappresenta nella realtà un vincolo di semi-incastro il cui momento è **tutt'altro che nullo**. Per questo motivo si aggiunge fuori calcolo un momento negativo che può essere calcolato considerando la campata come una trave incastrata e caricata con la metà del carico complessivo (permanente + variabile).



Modello di trave continua – correzione del modello

La non perfetta coincidenza del modello «trave continua» con la realtà, richiede cautela nella progettazione dei ferri longitudinali del solaio: non si è tenuto conto, ad esempio, che **la trave non è un appoggio fisso, ma un appoggio elastico**. Possono verificarsi, quindi dei cedimenti differenziali tra un vincolo e l'altro con conseguente variazione del diagramma dei momenti, rispetto a quello di calcolo, lungo l'asse principale del solaio. Per questo motivo è buona norma progettare le armature longitudinali inferiori in campata per un valore del momento non inferiore a $(P_d + Q_d) L^2 / 16$.



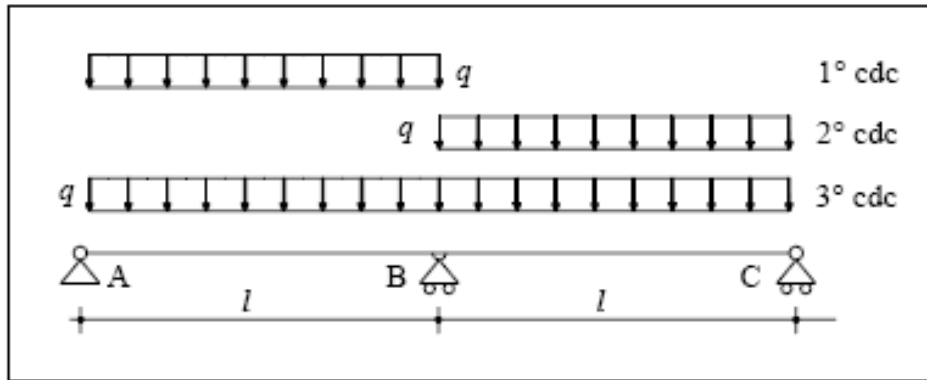
Combinazioni di carico

Una volta completata l'analisi dei carichi, bisogna caricare la trave continua che schematizza il solaio e, di regola, individuare le condizioni per le quali si ottengono le sollecitazioni di Taglio e Momento più gravose.

I carichi infatti, come si è visto, si suddividono in PERMANENTI e VARIABILI.

I permanenti come dice il nome, sono sempre presenti tutti insieme o soltanto in parte. Non è detto, infatti, che la condizione di carico per la quale è presente tutto il carico variabile sia quella che produce le sollecitazioni più elevate in tutte le sezioni.

Combinazioni di carico



Trave continua su due campate uguali:

Alle condizioni 1 e 2 corrispondono i valori più alti dei momenti positivi in campata, mentre alla condizione 3 corrisponde il massimo momento negativo sull'appoggio.

Quindi, per progettare correttamente questa trave, bisogna necessariamente prendere in considerazione tutte e tre le eventualità.

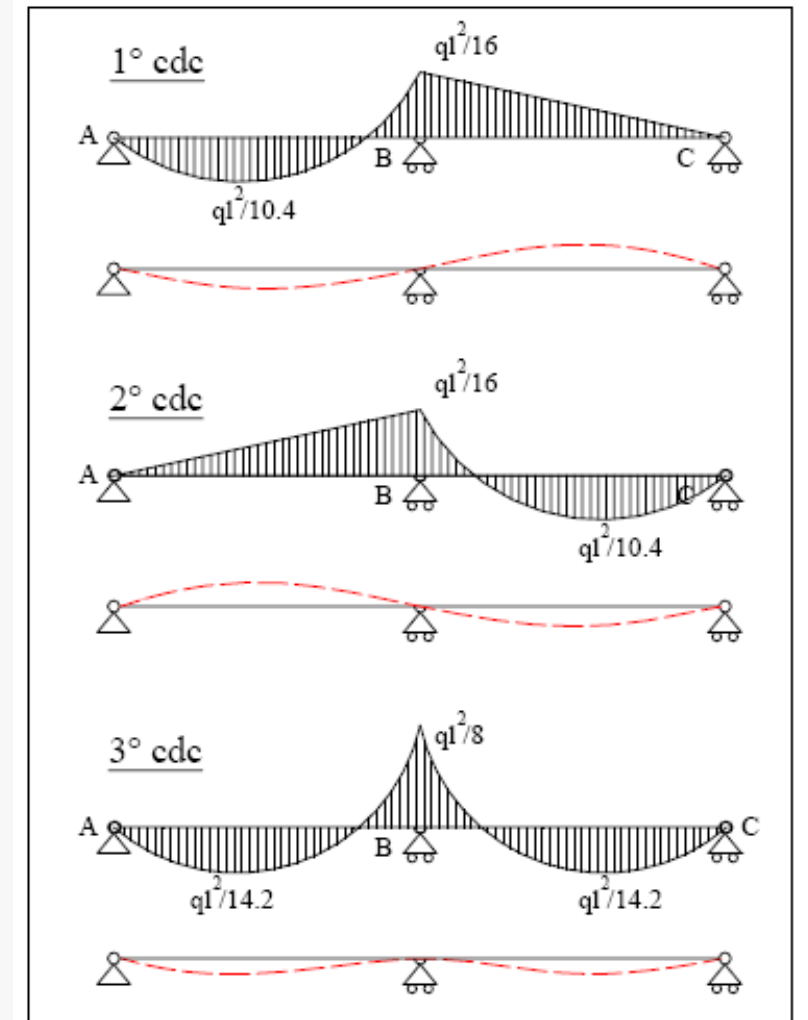
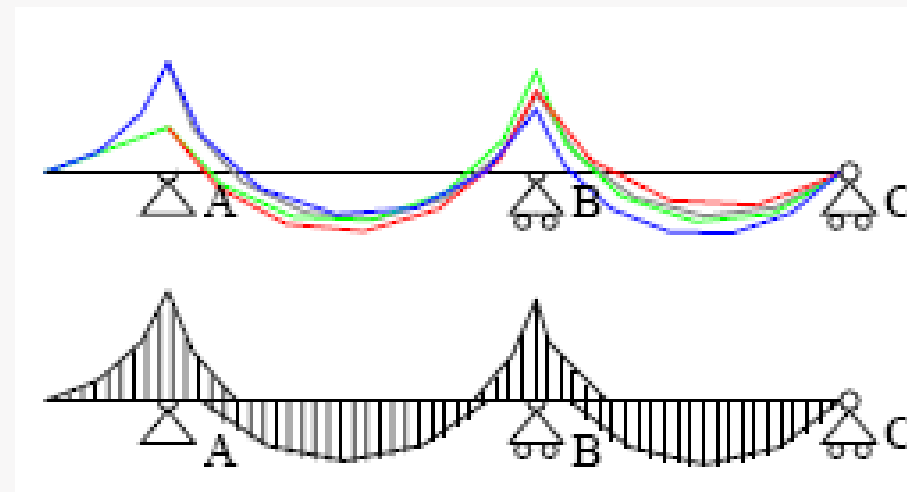
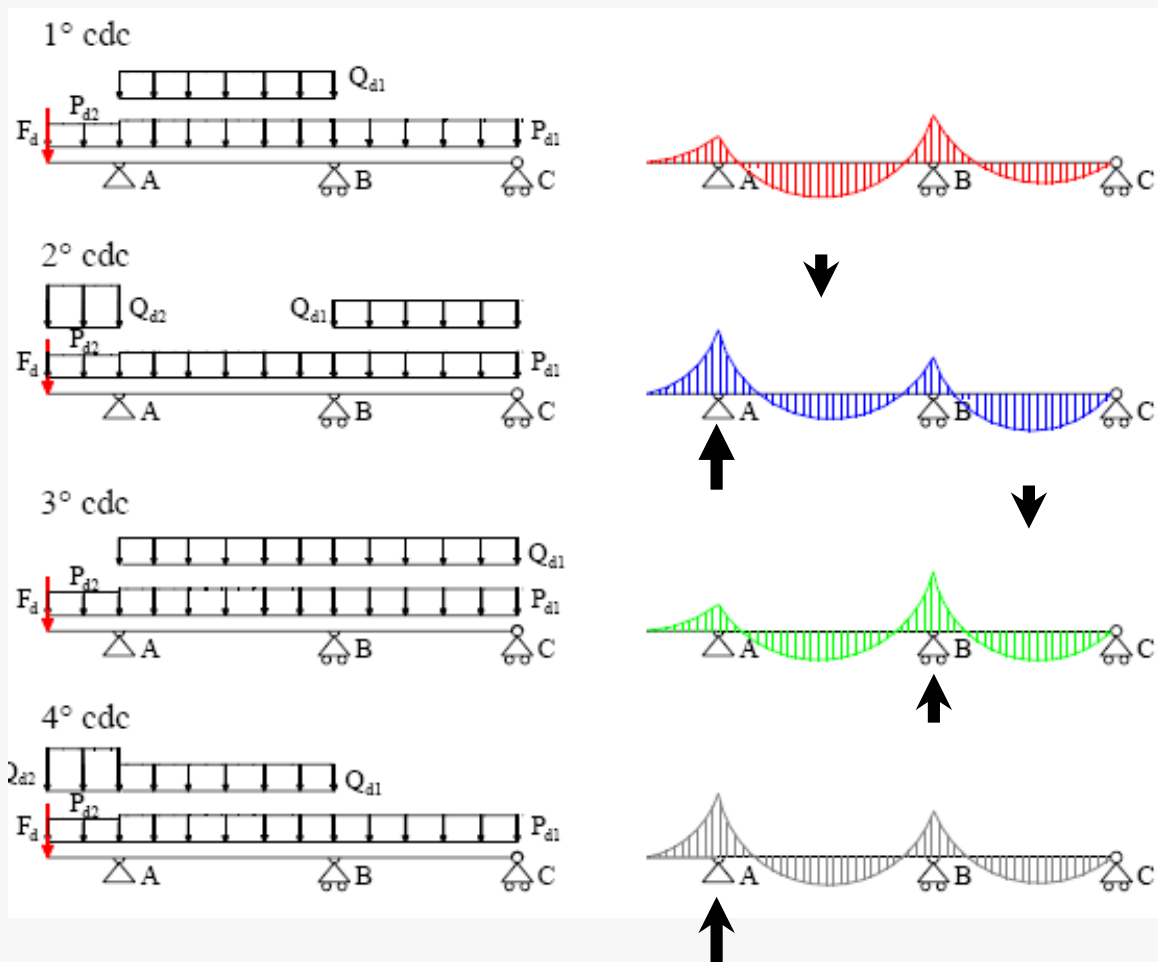


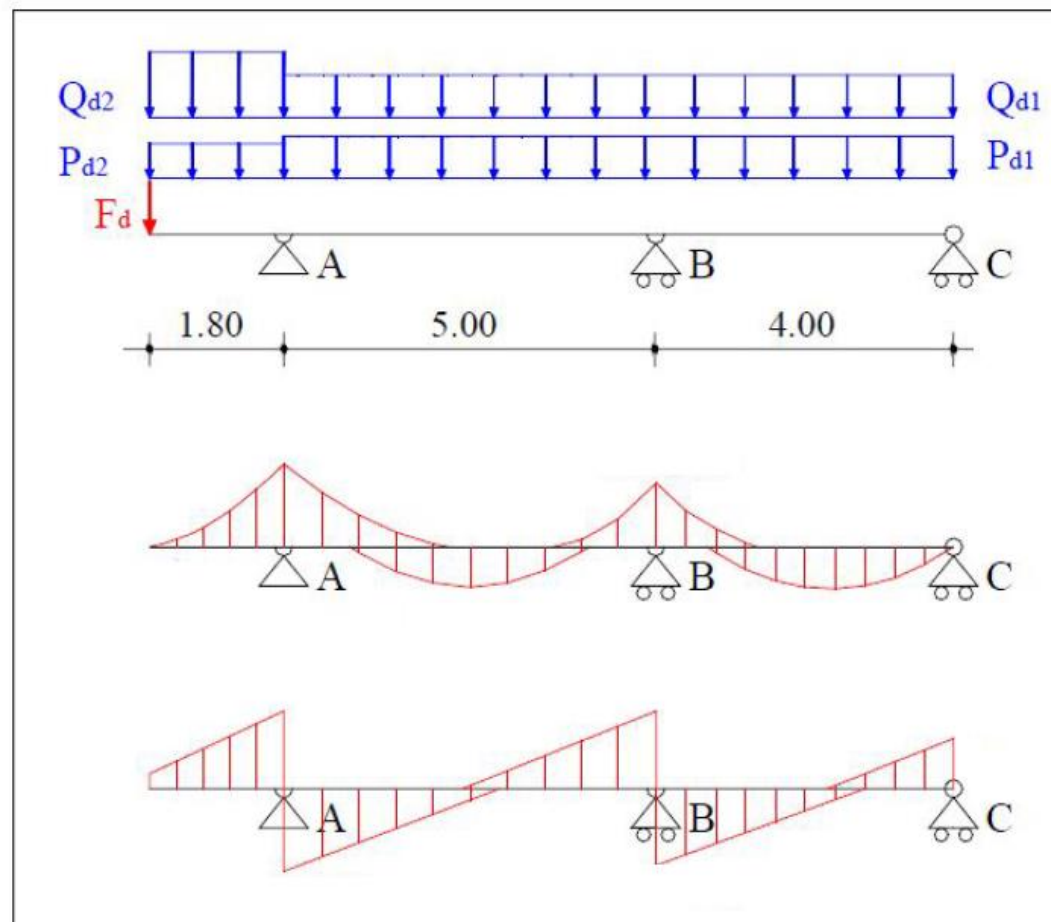
Diagramma di involuppo

Diagramma di involuppo finale: sul quale viene eseguito il progetto delle armature a flessione
Un diagramma analogo può essere ottenuto per la sollecitazione di taglio.



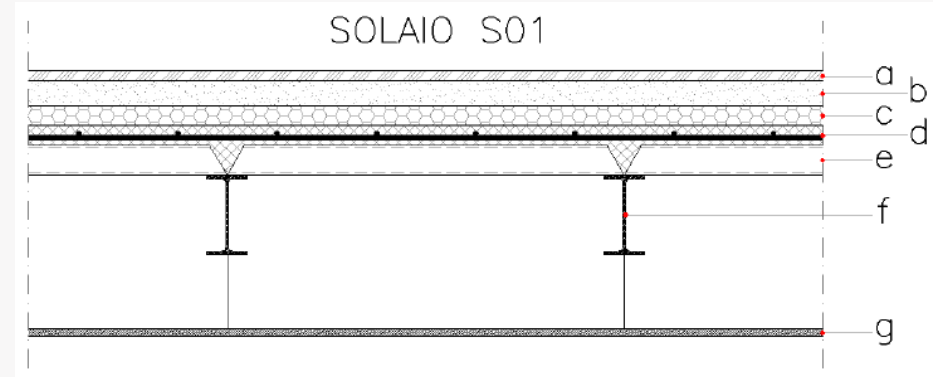
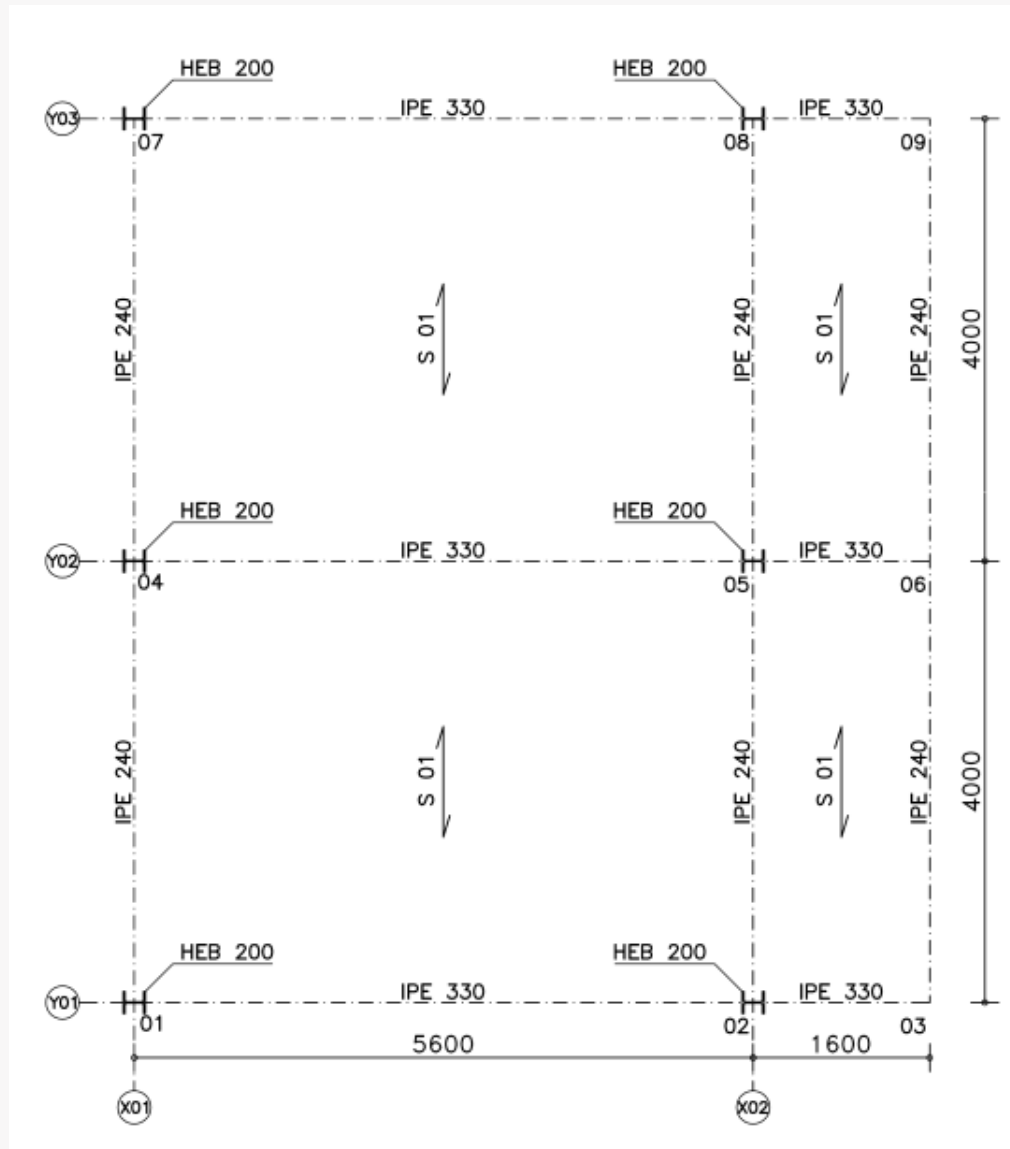
Il progetto delle armature

Inviluppo diagrammi taglio e momento



I diagrammi delle sollecitazioni, utilizzabili per il progetto del solaio, sono rappresentati dai diagrammi inviluppo relativi alle combinazioni di carico più gravose

Esercizio



- a) Pavimento in granito $s=20\text{ mm}$
- b) Massetto sabbia e cemento $s=50\text{ mm}$
- c) Isolante termoacustico $s=40\text{ mm}$
- d) Caldana in C.A. $S=40\text{ mm}$
- e) Tavelloni per solaio $S=60\text{ mm}$
- f) Travi IPE 160 $i=800\text{ mm}$ (INTERASSE)
- g) Controsoffitto: $S=18\text{ mm}$

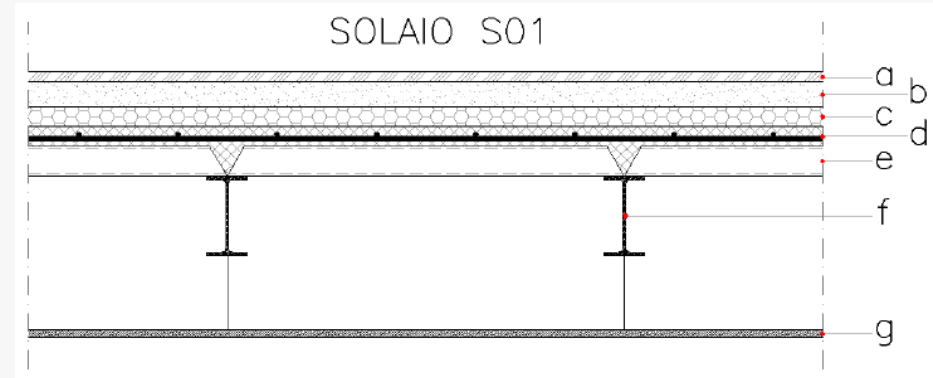
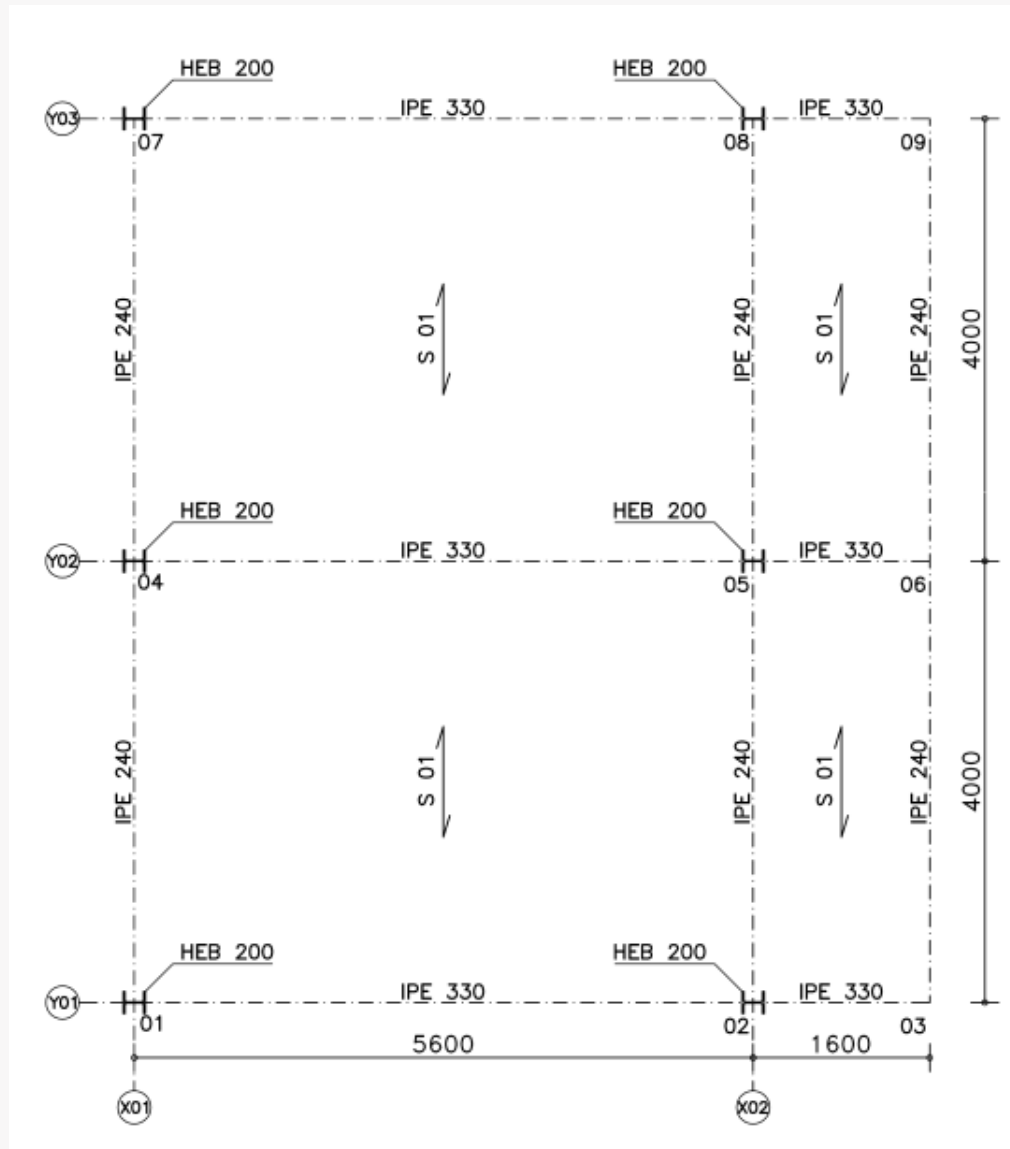
Incidenza impianti: $0,50\text{ kN/m}^2$

Incidenza tramezzi: 1 kN/m^2

Dest. D'uso: negozio

Località: Roma

Esercizio



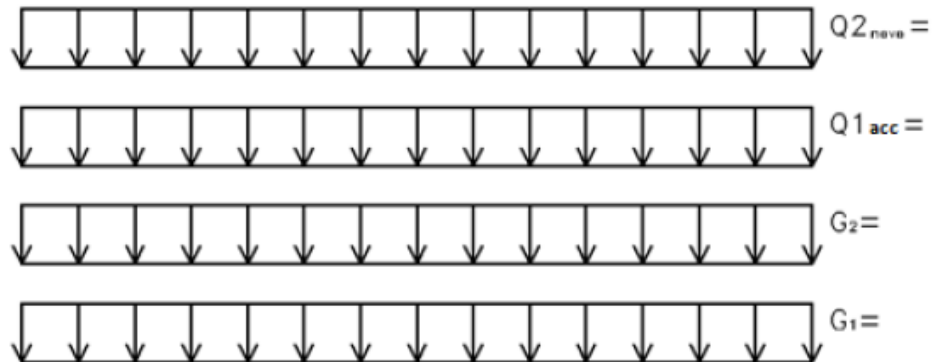
Pesi propri dei materiali

- Massetto: 18 kN/m^3
- Isolante: $0,5 \text{ kN/m}^3$
- Tavelloni: 5 pezzi/m^2 (1 pezzo $7,7 \text{ kg}$)
- IPE 160: $15,8 \text{ kg/m}$
- IPE 330: $49,1 \text{ kg/m}$
- Controsoffitto: $13,5 \text{ kN/m}^3$

Esercizio

Domande:

- 1) Analisi dei carichi del solaio S01 utilizzando il DM 2008 + Circolare per
 - determinare i **permanenti strutturali G1**
 - determinare i **permanenti non strutturali G2**
 - determinare il carico accidentale **Q1** per **destinazione uso : NEGOZIO**
 - determinare il **carico da neve Q2**
- 2) Individuare la trave più sollecitata e indicare il possibile **schema statico di calcolo**
- 3) Calcolare i **carichi lineari** da assegnare alla trave secondo il metodo delle **aree d'influenza** e trascriverli secondo lo schema seguente:



- 4) Scrittura delle **combinazioni fondamentali allo SLU distinte per tipologia di carico accidentale (destinazione d'uso negozio) e neve**

Esercizio – soluzione domanda 1

Elementi strutturali G1:

- **Travi IPE 160**

Interasse $i = 80 \text{ mm} = 0,8 \text{ m}$

Numero di travi al metro: $n^\circ \text{ travi IPE} = 1/i = 1/0,8 = 1,25 \text{ travi/m}$

Peso trave $P = m \times g = 15,8 \times 9,81 \simeq 158 \text{ N/m} = 0,158 \text{ kN/m}$

Incidenza travi IPE: $(n^\circ \text{ travi/m}) \times (\text{peso trave/m}) = 1,25 * 0,158 = 0,2 \text{ kN/m}^2$

- **Tavelloni di alleggerimento**

Peso tavelloni: $(n^\circ \text{ tavelloni/m}^2) \times (\text{peso tavellone}) = 5 \times 7,7 \times 9,81/1000 \simeq 0,385 \text{ kN/m}^2$

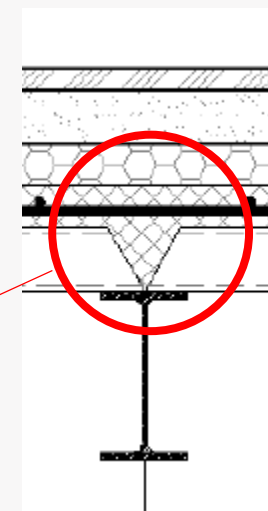
- **Caldana in c.a.**

$\gamma_{\text{CLS}} = 25 \text{ kN/m}^3$ (ARMATO)

$S = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$

Peso Caldana in c.a. $P = 25 \times 0,04 = 1,00 \text{ kN/m}^2$

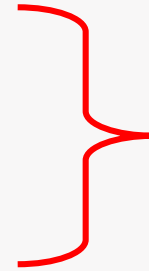
- Incidenza CLS tra un tavellone e l'altro: $P = 0,11 \text{ kN/m}^2$



Esercizio – soluzione domanda 1

Elementi non strutturali G2:

- *Pavimentazione $P= 0,54 \text{ kN/m}^2$*
- *Massetto $P=0,90 \text{ kN/m}^2$*
- *Isolante termoacustico $P=0,020 \text{ kN/m}^2$*
- *Controsoffitto $P=0,24 \text{ kN/m}^2$*



Il peso al metro quadrato si calcola semplicemente moltiplicando il peso specifico per le altezze degli elementi.

- *Incidenza tramezzature e impianti: vengono fornite dai dati già al metro quadrato*
- *Eventuali carichi appesi non previsti: $P=0,20 \text{ kN/m}^2$*

Esercizio – soluzione domanda 1

Carico accidentale Q_1 per destinazione d'uso NEGOZIO:

Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

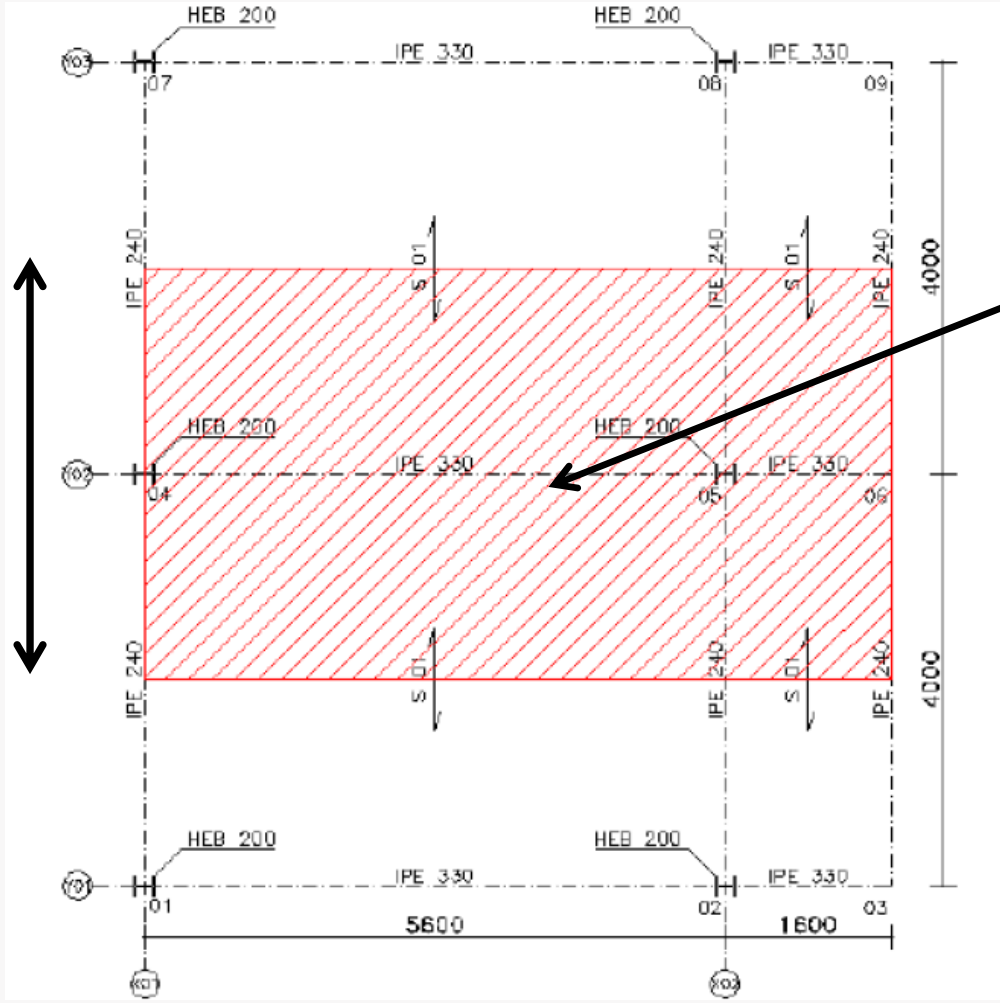
Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00

Esercizio – soluzione domanda 1

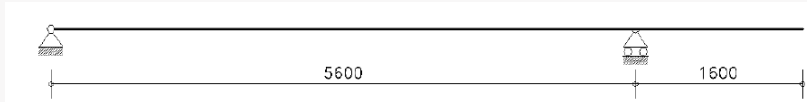
Solaio S01					
Pavimento in granito					
[quota +4,00]					
	γ	b	h	i	
	[kNm ⁻³]	[mm]	[mm]	[mm]	[kNm ⁻²]
Caldana in c.a.	25,00		40		1,00
Tavelloni 250x800x60 (7,7 kg a pezzo)					0,39
Incidenza calcestruzzo su intermezzo Tavelloni					0,11
IPE 160				800	0,20
Totale carichi permanenti strutturali G₁:					1,70
Controsoffitto	13,50		18		0,24
Incidenza impianti					0,50
Isolante termo-acustico	0,50		40		0,02
Massetto sabbia e cemento	18,00		50		0,90
Pavimento in granito	27,00		20		0,54
Incidenza tramezzature con $1,00 < G_2 < 2,00$					1,00
Vari ed in arrotondamento					0,20
Totale carichi permanenti non strutturali G₂:					3,40
Totale carichi accidentali					4,00
(Cat. D1 – Negozi)					
Totale carico neve					0,48

Esercizio – soluzione domanda 2

Larghezza influenza 4 m



Area di influenza

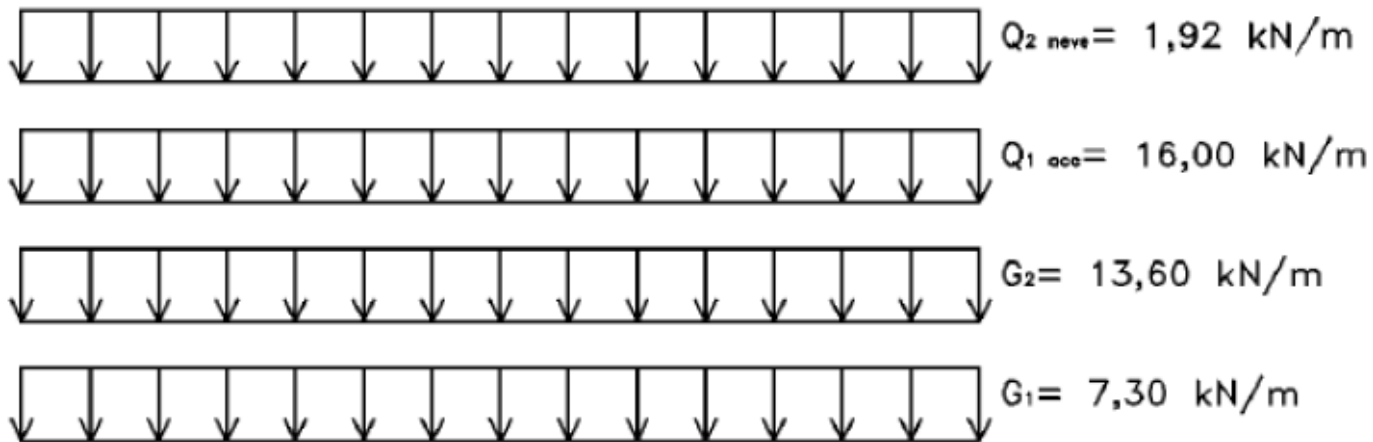


Tratto 1

Tratto 2

Esercizio – soluzione domanda 3

- **Larghezza di influenza:** 4,00 m.
- Per ottenere il carico lineare devo moltiplicare il carico al metro quadrato per la larghezza di influenza. Devo aggiungere il peso proprio della IPE 330 (trave principale).
 - Peso proprio IPE 330: $P = 49,1 \times 9,81 / 1000 \approx 0,5 \text{ kN/m}$
 - **Carico permanente strutturale $G_1 = 1,70 \times 4,00 + 0,50 = 7,30 \text{ kN/m}$**
 - **Carico permanente non strutt. $G_2 = 3,40 \times 4,00 = 13,60 \text{ kN/m}$**
 - **Carico accidentale Q_1 (Cat. D1 Negozi) = $4,00 \times 4,00 = 16,00 \text{ kN/m}$**
 - **Carico accidentale Q_2 (Neve zona III) = $0,48 \times 4,00 = 1,92 \text{ kN/m}$**



Esercizio – soluzione domanda 4

2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6

Esercizio – soluzione domanda 1

$$Q = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_2$$

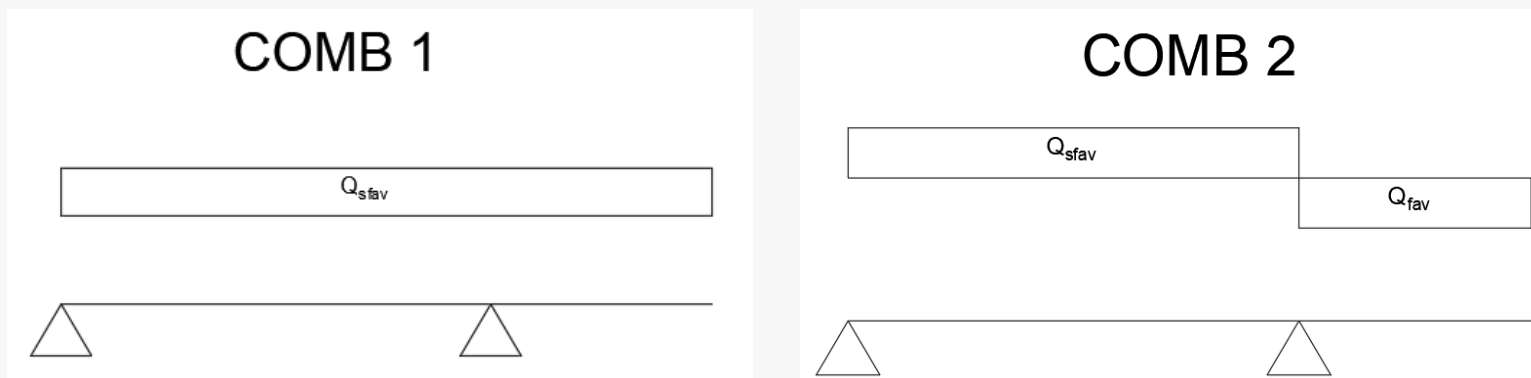
CARICO SFAVOREVOLE

$$Q_{sfav} = 1,3G_1 + 1,5G_2 + 1,5Q_1 + 1,5 \times 0,7Q_2 = 56 \text{ kN/m}$$

CARICO FAVOREVOLE

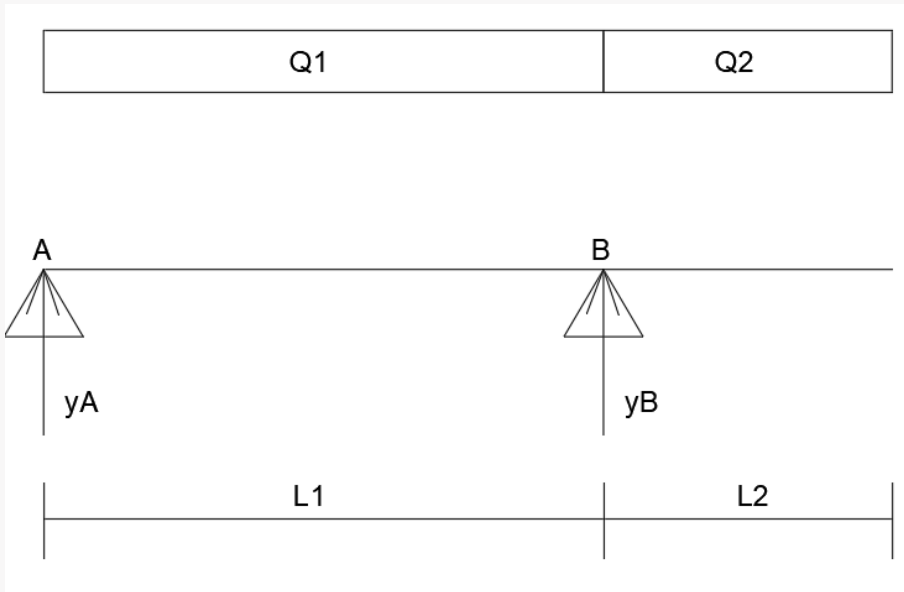
$$Q_{fav} = 1G_1 + 0,8G_2 = 18,2 \text{ kN/m}$$

COMBINAZIONE DEI CARICHI



INVILUPPO

Esercizio – soluzione domanda 1



$$POLO A \quad Y_B = \frac{Q_1 L_1}{2} + Q_2 L_2 \left(1 + \frac{L_2}{2L_1}\right)$$

$$POLO B \quad Y_A = \frac{Q_1 L_1}{2} - \frac{Q_2 L_2^2}{2L_1}$$

$$M_{max} = Y_A x_0 - Q_{sfav} \frac{x_0^2}{2} = 185,14 \text{ kNm}$$

$$X_0 = \frac{Y_A}{Q_{sfav}} = \frac{(L_1^2 - L_2^2)}{2L_1} = 2,57 \text{ m}$$

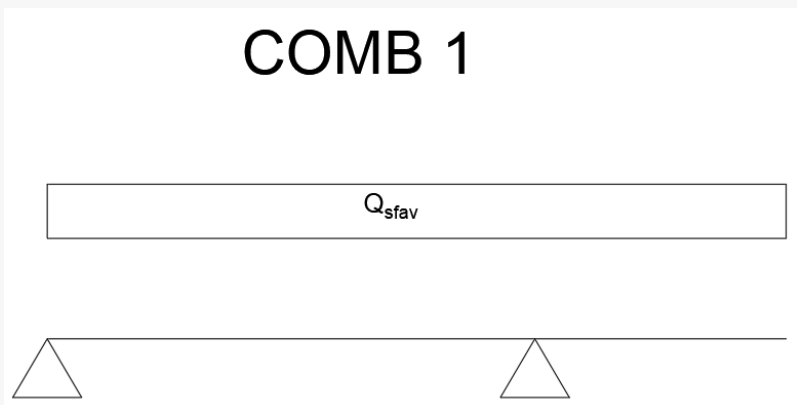
$$M(x) = \begin{cases} -\frac{Q_1 x^2}{2} + Y_A X & 0 \leq X < L_1 \\ \frac{Q_2 (L_1 + L_2 - x)^2}{2} & 0 < x < L_1 + L_2 \end{cases}$$

$$T(x) = \begin{cases} Y_A - Q_1 X & 0 \leq X < L_1 \\ Q_2 (L_1 + L_2 - x) & 0 < x < L_1 + L_2 \end{cases}$$

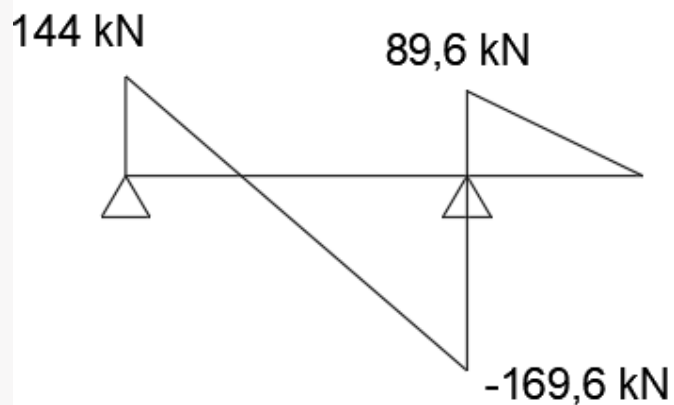
Esercizio – soluzione domanda 1

COMBINAZIONE DEI CARICHI 1

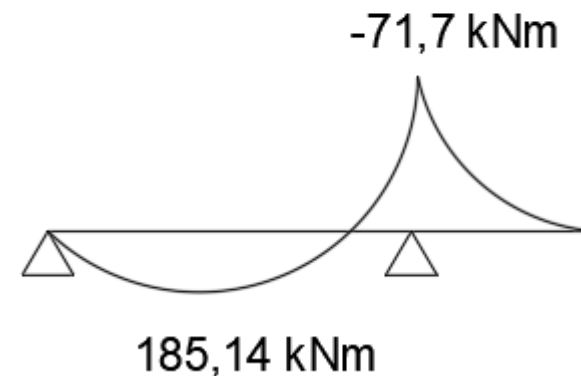
COMB 1



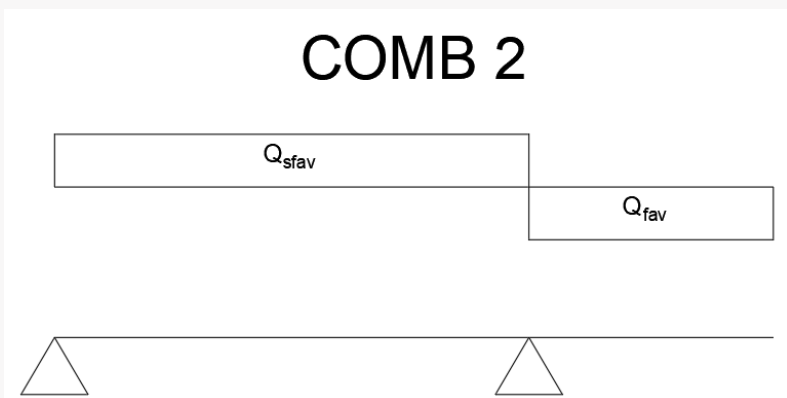
TAGLIO



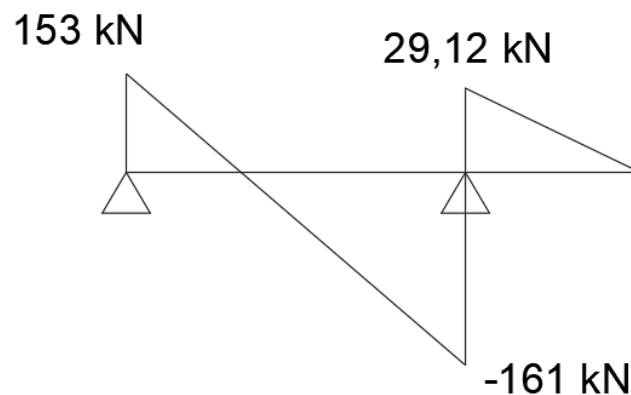
MOMENTO



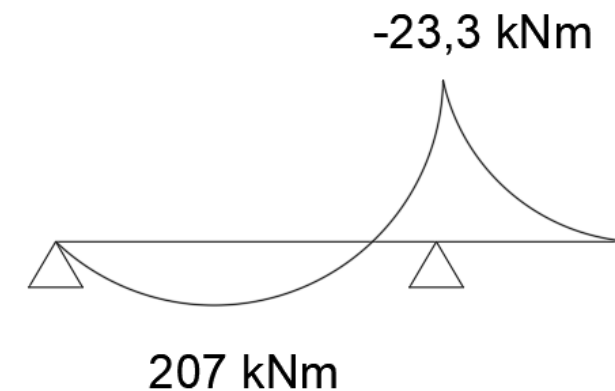
COMB 2



TAGLIO



MOMENTO



Esercizio – soluzione domanda 1

VERIFICA A FLESSIONE

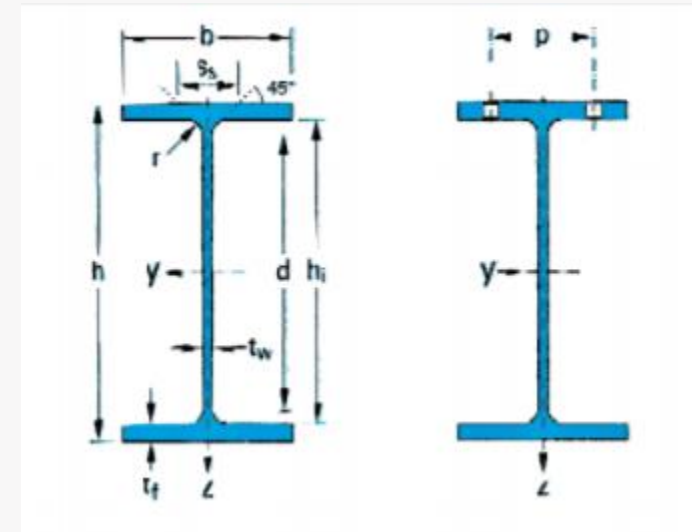
$$M_{edmax} = 207 \text{ kNm} \leq M_{rd} = W_{Pl} f_{yd} = 2 S_x \frac{f_{yk}}{\gamma} = 629 \text{ kNm}$$

VERIFICA A TAGLIO

$$V_{edmax} = 169 \text{ kNm} \leq V_{rd} = \frac{A_v}{2\sqrt{3}} f_{yd} = 348 \text{ kN}$$

IPE 330

Designazione nominale	Dati statici										Classificazione							
	I_y cm ⁴	$W_{el,y}$ cm ³	$W_{pl,y}$ cm ³	i_y cm	A_{yz} cm ²	I_z cm ⁴	$W_{el,z}$ cm ³	$W_{pl,z}$ cm ³	i_z cm	s_s mm	I_t cm ⁴	$I_w \times 10^{-3}$ cm ⁶	Flessione			Compressione		
													S 235	S 355	S 460	S 235	S 355	S 460
IPE A 220	2 317	213.5	240.2	9.05	13.55	171.4	31.17	48.49	2.46	34.46	5.69	18.71	1	1	1	2	4	4
IPE 220	2 772	252.0	285.4	9.11	15.88	204.9	37.25	58.11	2.48	38.36	9.07	22.67	1	1	1	1	2	4
IPE O 220	3 134	282.3	321.1	9.16	17.66	239.8	42.83	66.91	2.53	41.06	12.27	26.79	1	1	1	1	2	2
IPE A 240	3 290	277.7	311.6	9.94	16.31	240.1	40.02	62.40	2.68	39.37	8.35	31.26	1	1	1	2	4	4
IPE 240	3 892	324.3	366.6	9.97	19.14	283.6	47.27	73.92	2.69	43.37	12.88	37.39	1	1	1	1	2	4
IPE O 240	4 369	361.1	410.3	10.00	21.36	328.5	53.86	84.40	2.74	46.17	17.18	43.68	1	1	1	1	2	3
IPE A 270	4 917	368.3	412.5	11.21	18.75	358.0	53.03	82.34	3.02	40.47	10.30	59.51	1	1	1	3	4	4
IPE 270	5 790	428.9	484.0	11.23	22.14	419.9	62.20	96.95	3.02	44.57	15.94	70.58	1	1	1	2	3	4
IPE O 270	6 947	507.1	574.6	11.36	25.23	513.5	75.51	117.7	3.09	49.47	24.90	87.64	1	1	1	1	2	3
IPE A 300	7 173	483.1	541.8	12.42	22.25	519.0	69.20	107.3	3.34	42.07	13.43	107.2	1	2	1	3	4	4
IPE 300	8 356	557.1	628.4	12.46	25.68	603.8	80.50	125.2	3.35	46.07	20.12	125.9	1	1	1	2	4	4
IPE O 300	9 994	657.5	743.8	12.61	29.05	745.7	98.12	152.6	3.45	50.97	31.06	157.7	1	1	1	1	3	4
IPE A 330	11 770	713.1	804.3	13.71	30.81	788.1	98.52	153.7	3.55	51.59	28.15	199.1	1	1	1	2	4	4
IPE O 330	13 910	833.0	942.8	13.64	34.60	960.4	116.6	185.0	3.64	56.59	42.15	245.7	1	1	1	1	3	4



Ripasso

MOMENTO STATICO

Gli assi rispetto ai quali il momento statico risulta nullo sono detti assi baricentrici e la loro origine è detto baricentro dell'area A , le cui coordinate si possono ricavare dagli integrali precedenti annullandone il valore:

$$y_g = \frac{S_x}{A} \quad x_g = \frac{S_y}{A}$$

TEOREMA DI HUYGENS

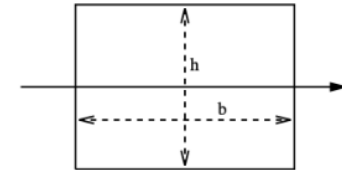
Il momento rispetto a un asse z , parallelo a un altro c passante per il centro di massa, si ottiene sommando al momento di inerzia rispetto a c il prodotto tra la massa del corpo (o l'area della sezione) e la distanza al quadrato tra gli assi c e z

$$I'_x = I_{xg} + y_g^2 A \quad I'_y = I_{yg} + x_g^2 A$$

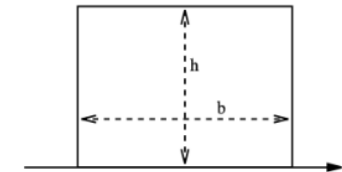
MOMENTO INERZIA

Rettangolo:

$$J_{11} = \frac{bh^3}{12}$$

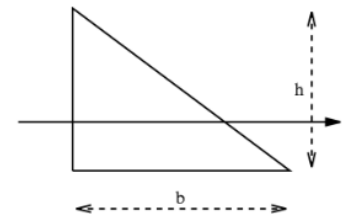


$$J_{11} = \frac{bh^3}{3}$$

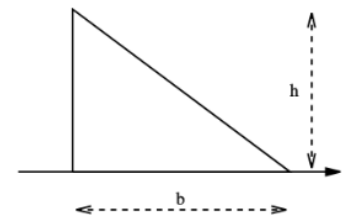


Triangolo:

$$J_{11} = \frac{bh^3}{36}$$



$$J_{11} = \frac{bh^3}{12}$$



Esercizio

Area

$$A = 13 a^2$$

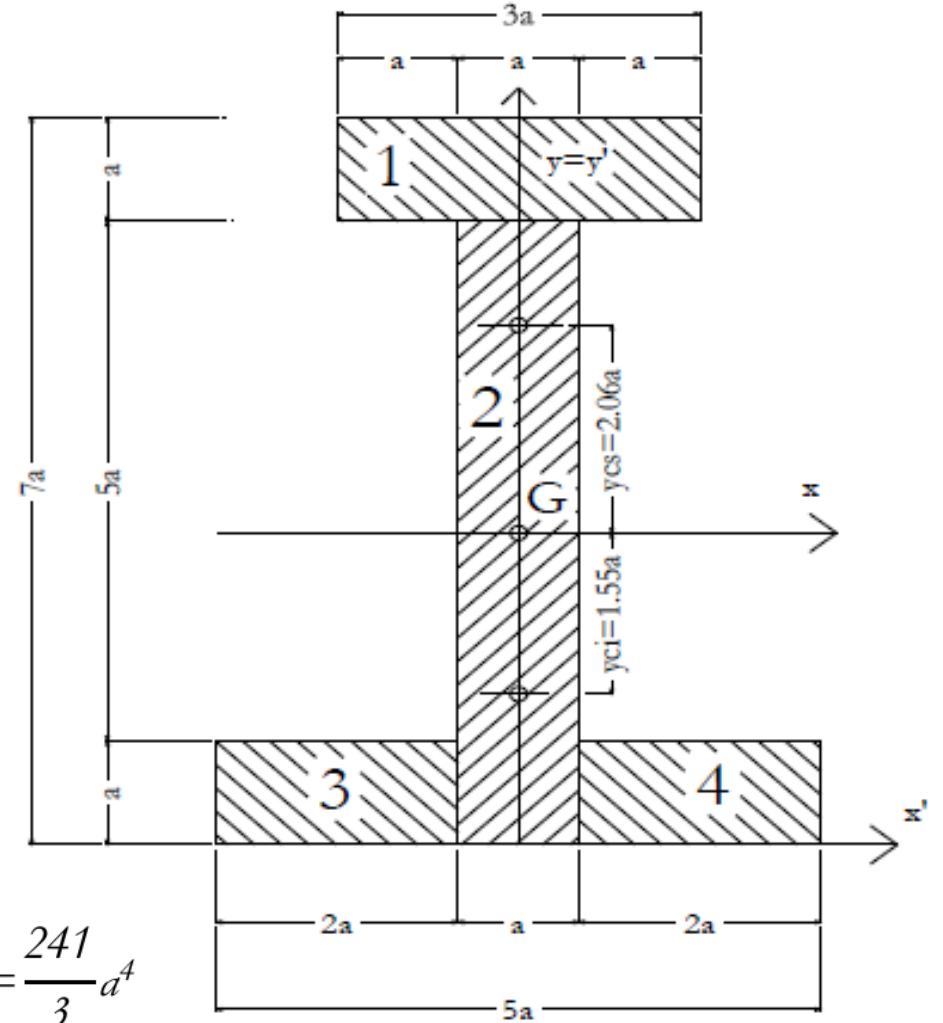
BARICENTRO

$$x_g = S_y' / A = 0$$

$$y_g = \frac{S_y'}{A} = \frac{\sum_{i=1}^5 S_i}{A} = \frac{3a \times a \times \frac{13}{2} a + 6a \times a \times 3a + 2 \times 2a \times a \times \frac{a}{2}}{13a^2} = \frac{79}{26} a \cong 3a$$

MOMENTI DI INERZIA

$$I_x = \frac{1}{12} 3a \times a^3 + 3a \times a \times \left(\frac{7}{2} a\right)^2 + \frac{1}{12} a \times (6a)^3 + 2 \left(\frac{1}{12} 2a \times a^3 + 2a \times a \times \left(\frac{5}{2} a\right)^2 \right) = \frac{241}{3} a^4$$



Grazie dell'attenzione

Ing. Claudio Sebastiani

Email: claudio.sebastiani@uniroma3.it