

# Progetto di Strutture

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

A/A 2018-2019

---

## **IL SOLAIO – IL PROGETTO DELLE ARMATURE**

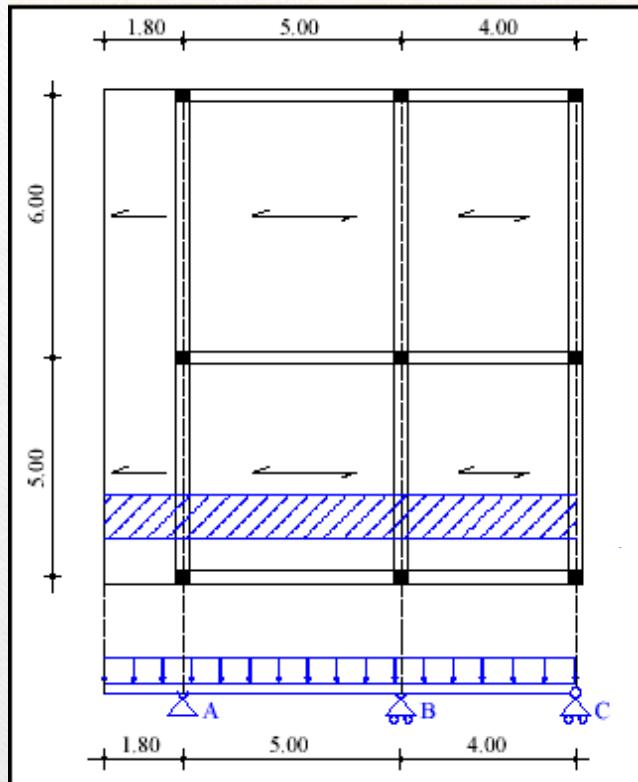
## Progetto di un solaio Latero-Cementizio

# IL PROGETTO DELLE ARMATURE

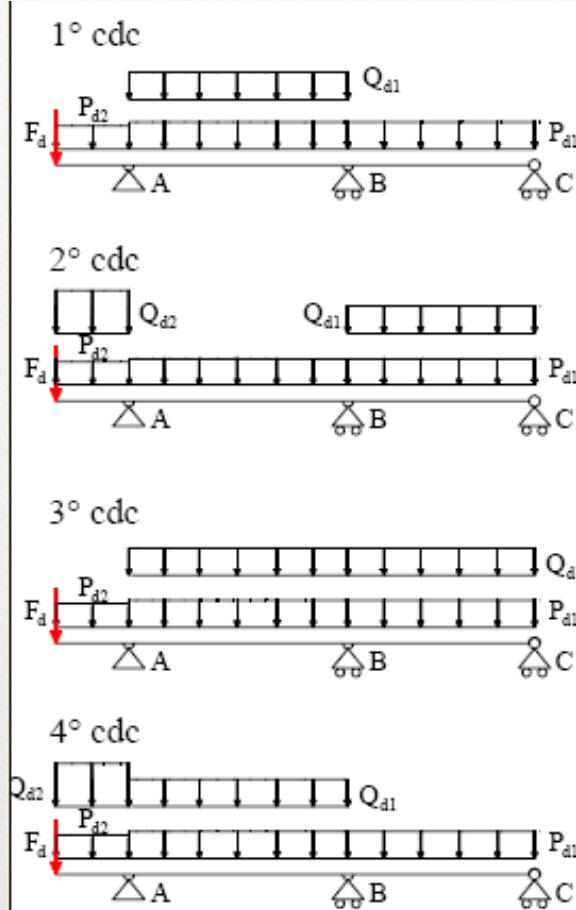
Il progetto delle armature è la fase finale del processo di progettazione di una struttura in c.a. Nel caso di solai latero-cementizi si arriva alla determinazione delle armature dei singoli travetti. Questa fase necessita dei seguenti passi:

- Il calcolo delle sollecitazioni e i diagrammi inviluppo
- Il progetto delle armature
- La disposizione delle armature nei travetti
- Il diagramma dei momenti resistenti
- La verifica delle sezioni

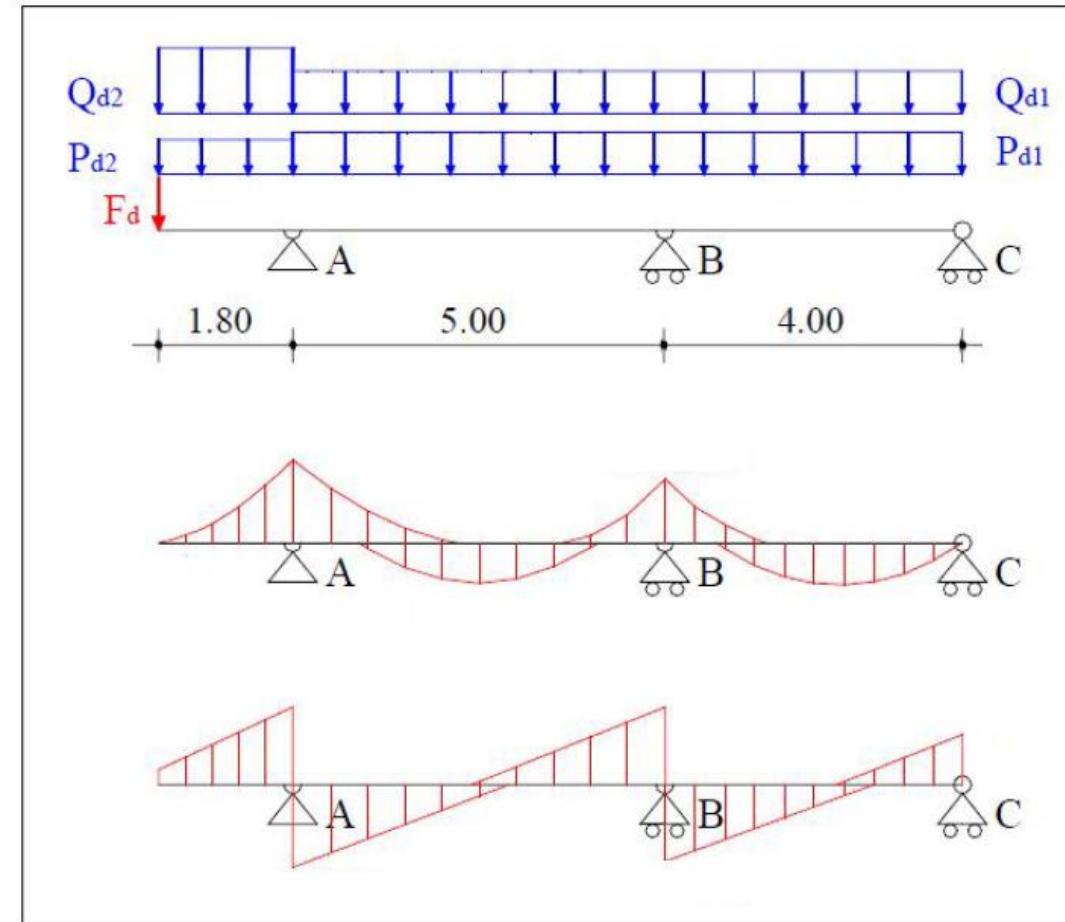
# DIAGRAMMI DI TAGLIO E MOMENTO



Modello di calcolo

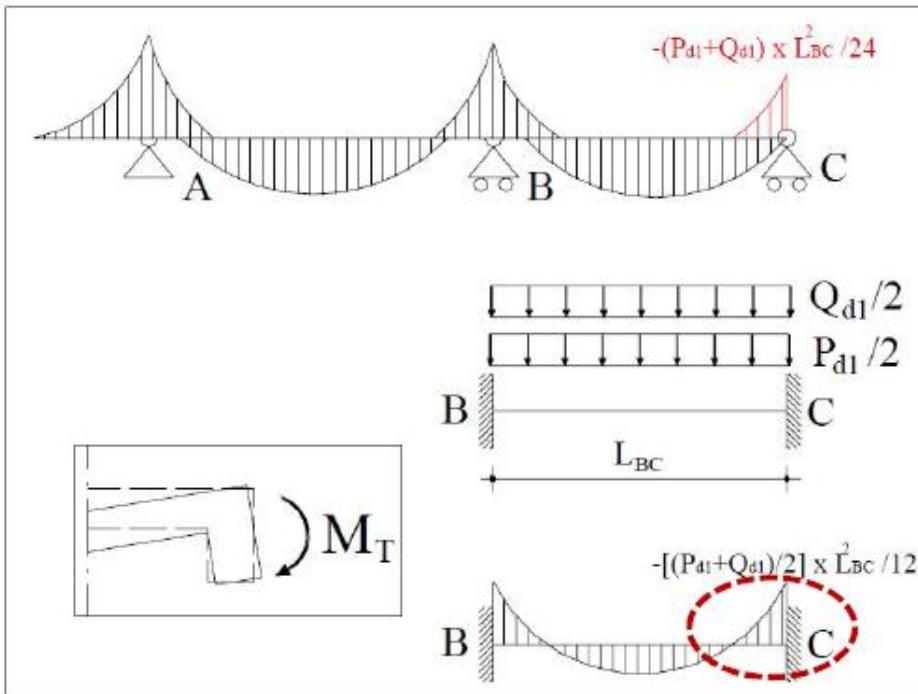


## Inviluppo diagrammi taglio e momento



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

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.

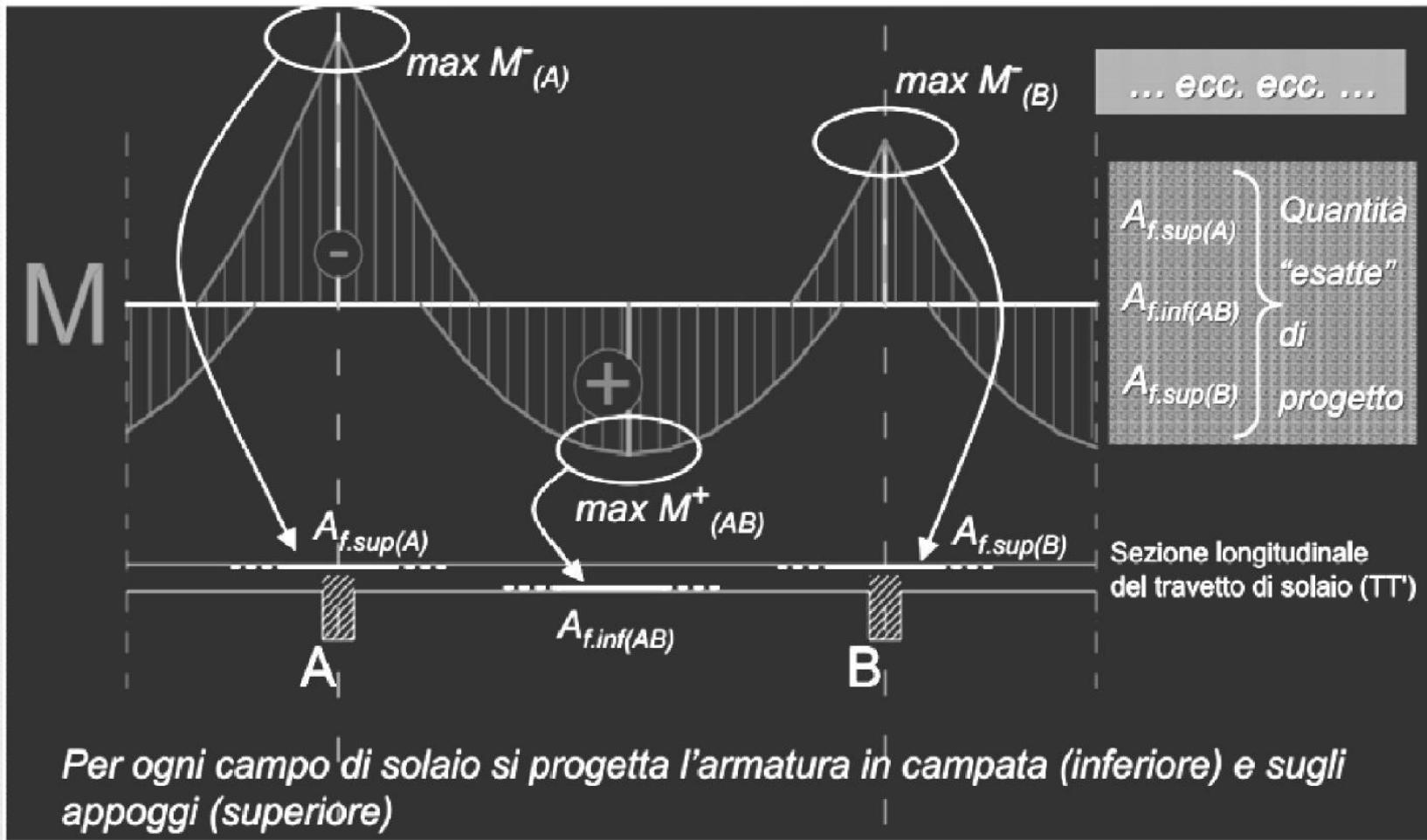


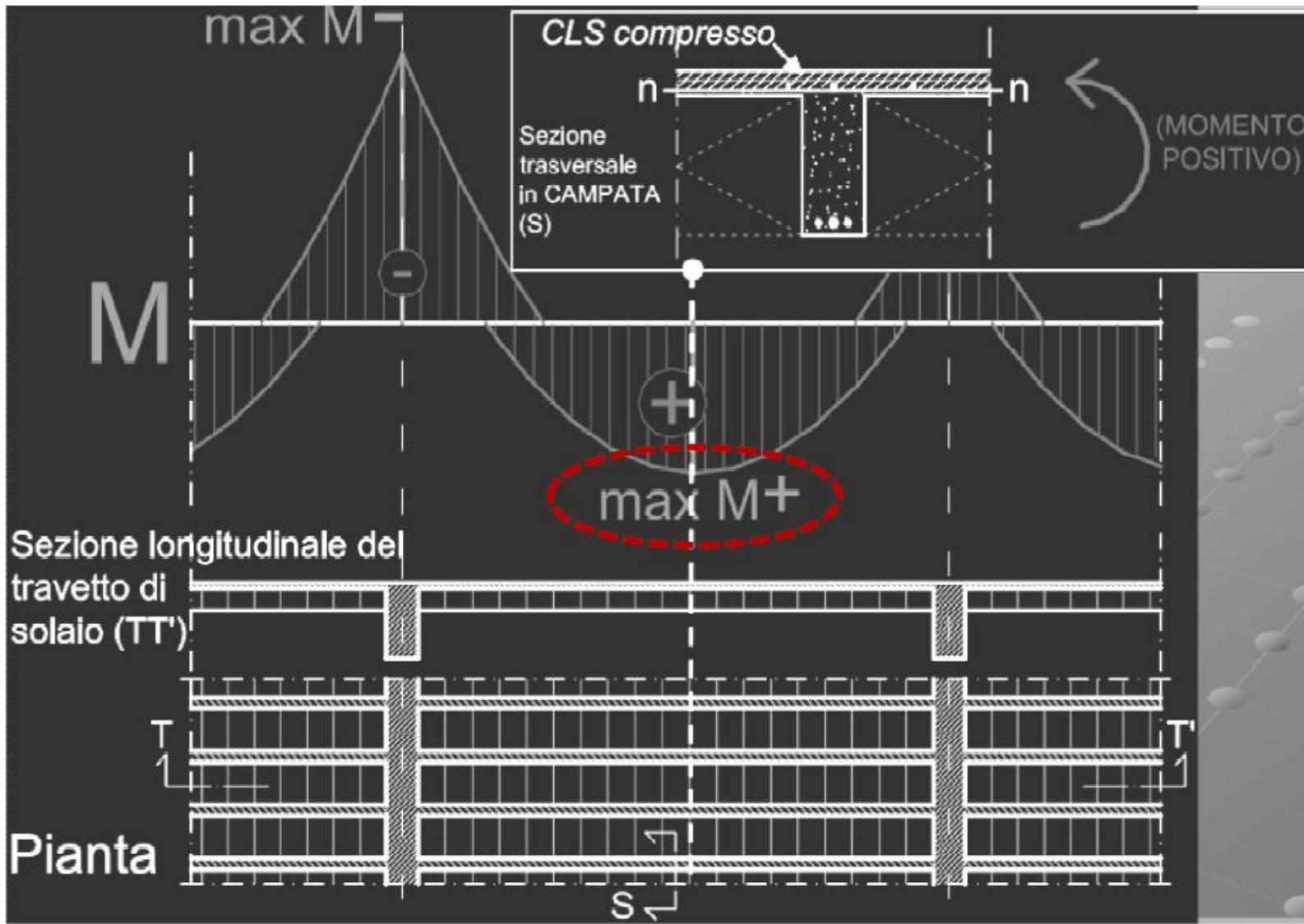
Per questo motivo, si aggiunge fuori calcolo un momento negativo che può essere calcolato considerando la campata come una trave incastrata e caricata con la metà del carico complessivo (permanente + variabile)

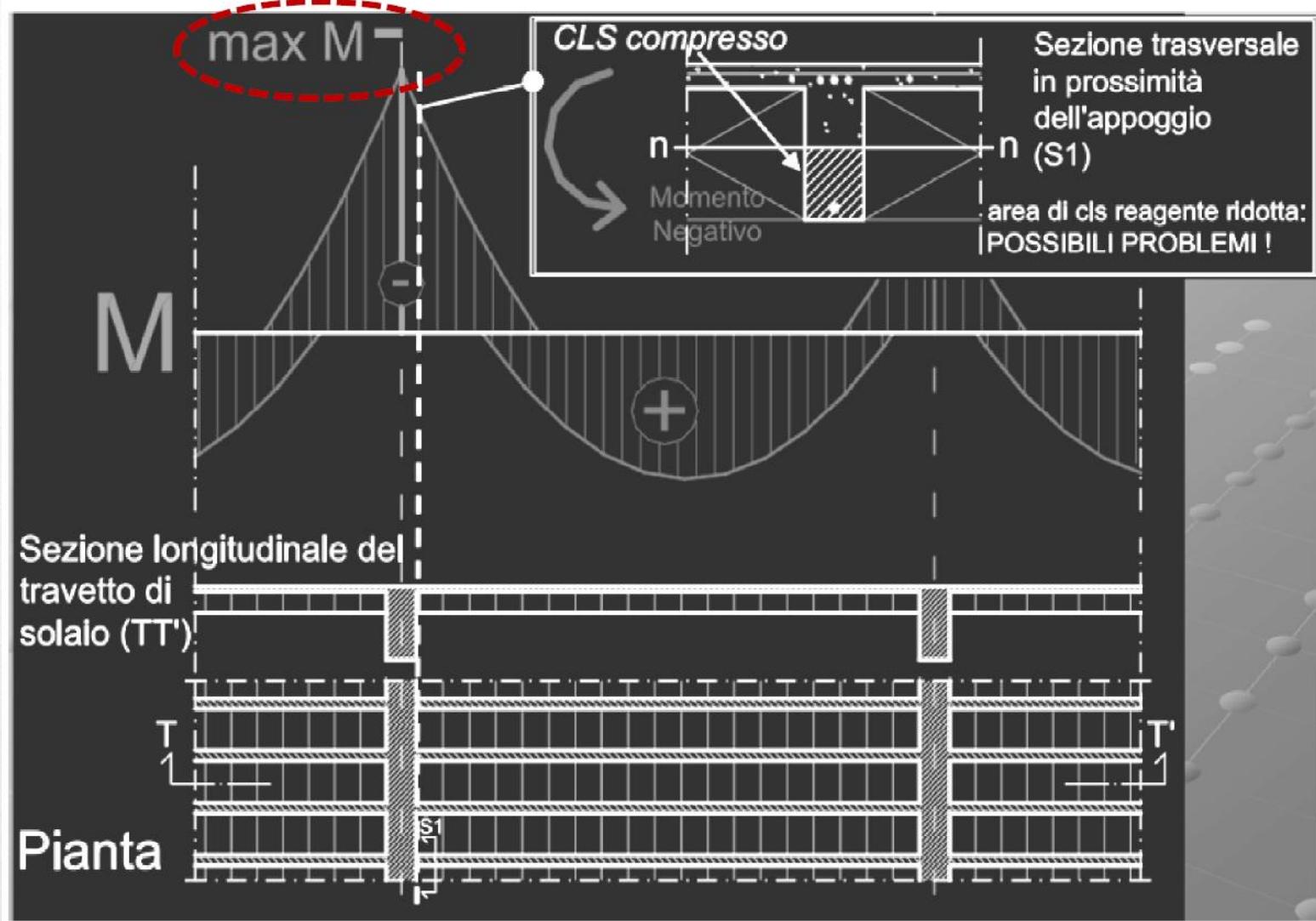
Per tracciare il tratto di diagramma che interessa si può ricorrere alla legge di variazione del momento per la trave incastrata con carico uniformemente distribuito pari a  $(P_{d1}+Q_{d1})/2$

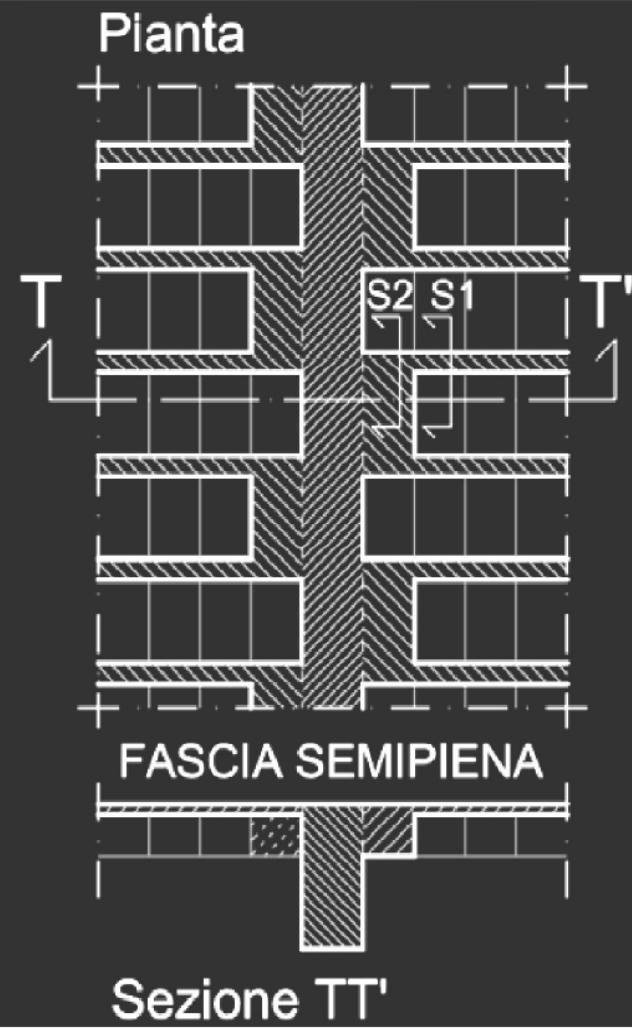
$$M(x) = M_C + [(P_{d1}+Q_{d1}) \cdot L_{BC} / 4] \cdot x - [(P_{d1}+Q_{d1})/2] \cdot x^2 / 2$$

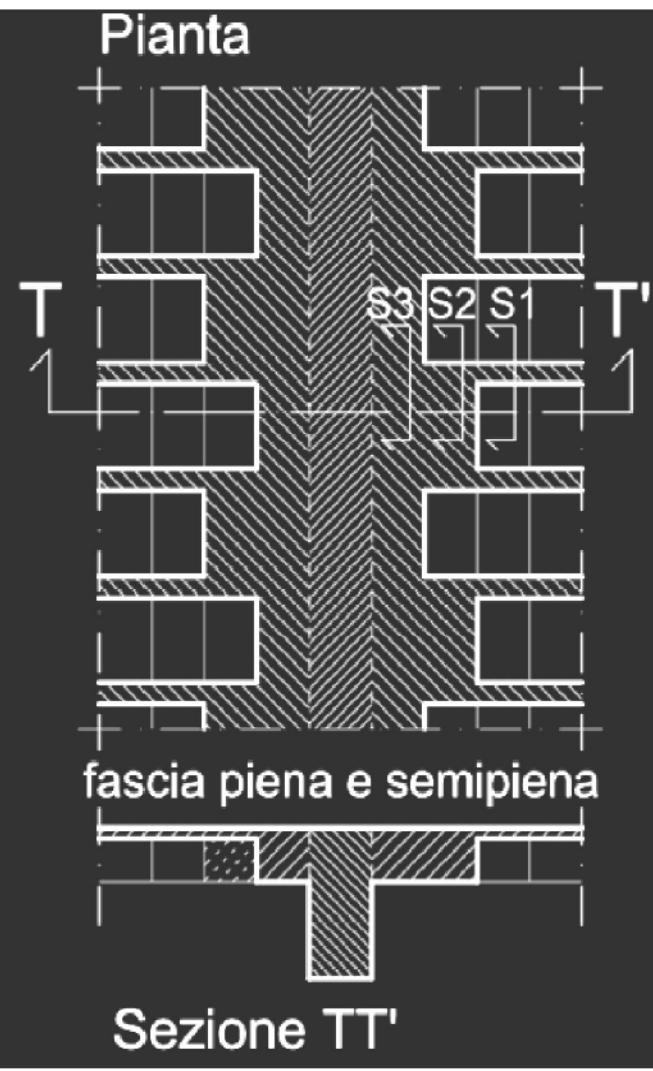
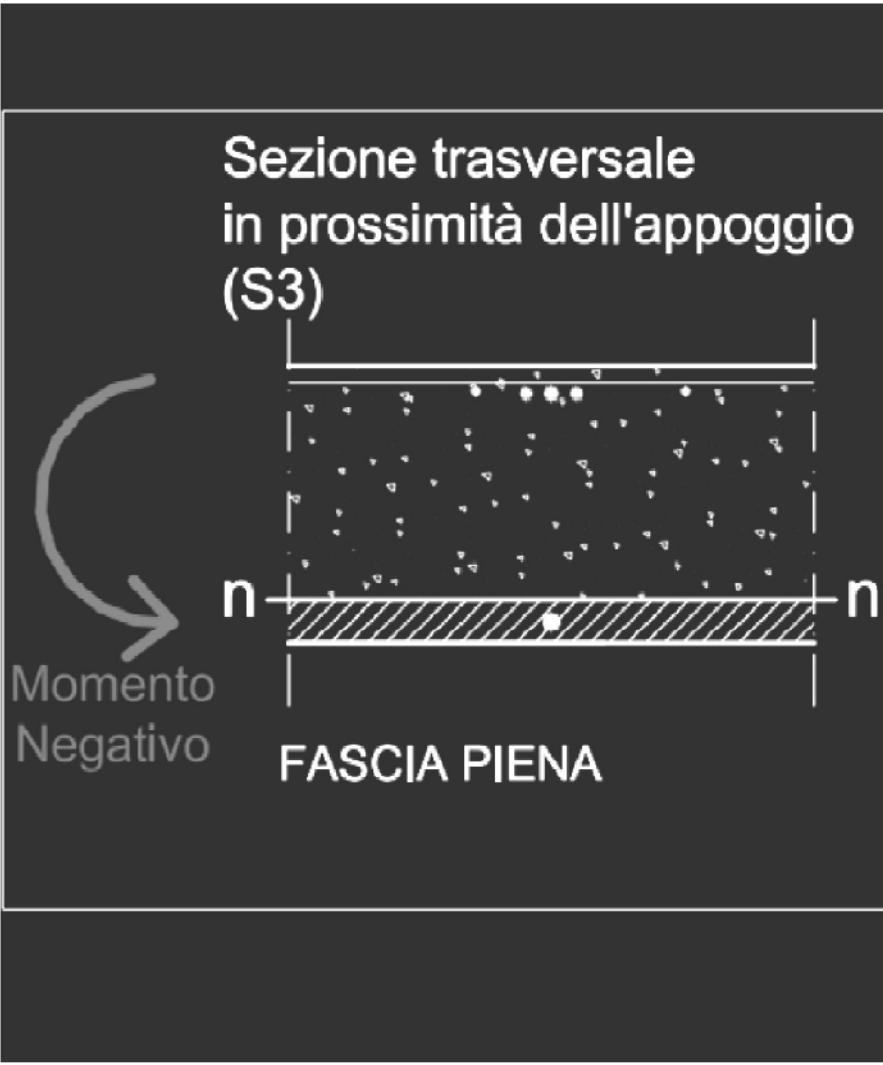
Inserendo i valori noti e risolvendo l'equazione di 2° grado in  $x$ , si ottiene l'ascissa in corrispondenza della quale il momento flettente si annulla:







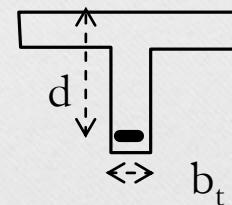




# PREDIMENSIONAMENTO ARMATURA E MINIMI NORMATIVA

- Il numero massimo di barre da disporre inferiormente non deve essere superiore a 2
- Il numero massimo di barre da disporre superiormente non deve essere superiore a 3
- In campata, dove il momento è positivo, i ferri superiori possono anche non essere disposti
- E' obbligatorio disporre inferiormente almeno una barra per travetto
- Si utilizzano solo diametri pari - E' opportuno impiegare non più di due diametri di armatura  $\phi 8-\phi 12$  /  $\phi 10-\phi 14$
- Il valore minimo deve rispettare l'indicazione della normativa che al punto 4.1.6.1.1 ne fornisce il valore :

$$A_{fn} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d ; \quad 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$



$b_t$  rappresenta la larghezza media della zona tesa; per una trave a T con piattabanda compressa, nel calcolare il valore di  $b_t$  si considera solo la larghezza dell'anima;

$d$  è l'altezza utile della sezione;

$f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione assiale definita nel § 11.2.10.2;

$f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

## **Progetto delle armature**

Il progetto delle armature consiste nel dimensionare l'area minima di acciaio, tale che in fase di verifica risulti in ogni sezione:

$$M_{Rd} \geq M_{Sd}$$

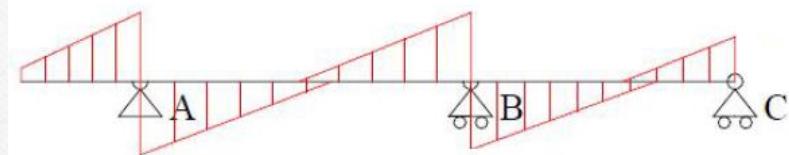
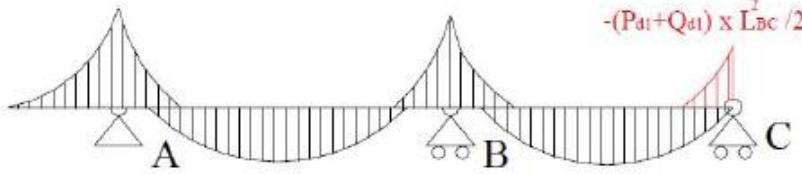
In via semplificativa l'area minima di armatura resistente a flessione può essere valutata attraverso:

$$A_{f\ min} = M_d / (0.9 \cdot d \cdot f_{yd})$$

Inoltre, in corrispondenza della sezione di appoggio, deve essere disposta un'area di armatura minima inferiore tale che:

$$A_{f\ min} = V_{Sd} / f_{yd}$$

# PREDIMENTONAMENTO ARMATURA E MINIMI NORMATIVA



<u>Sez</u>	Md (kNm)	PL <sup>2</sup> /16 (kNm)	Td (kN)	Af,min (cm <sup>2</sup> )	Td/fyd (cm <sup>2</sup> )	A <sub>f,norm</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>f,trav</sub> (cm <sup>2</sup> )	ϕ (mm)	Af,eff
AB <sub>inf</sub>	X	X		X		X	X	2ϕ8	-
BC <sub>inf</sub>	X	X		X		X	X	2ϕ8	-
A <sub>sup</sub>	X			X		X	X	3ϕ12	-
B <sub>sup</sub>	X			X		X	X	1ϕ8 1ϕ12	-
C <sub>sup</sub>	X			X		X	X	1ϕ12	-
A <sub>inf</sub>							X	1ϕ8	-
B <sub>inf</sub>							X	1ϕ8	-
C <sub>inf</sub>			X	X	X	X	X	1ϕ8	-

## **Le verifiche di sicurezza a flessione**

La verifica di sicurezza si effettua confrontando il momento resistente Mrd con quello agente. La verifica è soddisfatta se risulta:

$$M_{Rd} \geq M_{Sd}$$

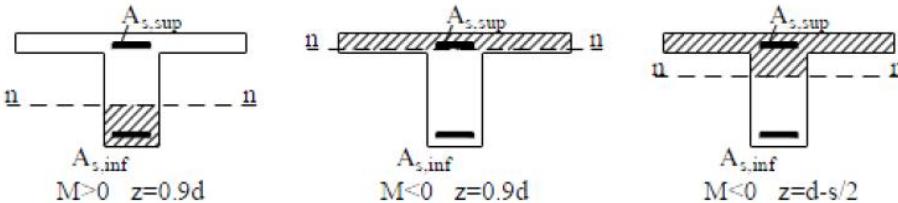
La procedura per la verifica di sicurezza a flessione si compone delle seguenti fasi:

**1) Valutazione del momento resistente Mrd**

*1.1) Posizione dell'asse neutro*

*1.2) Determinazione del Momento Resistente Mrd*

**2) Confronto tra il Momento resistente Mrd e quello agente Msd**



- Considerare la vera forma della sezione e le armature presenti

Titolo : [ ]		N° figure elementari [ ] Zoom		N° strati barre [ ] Zoom	
N°	b [cm]	h [cm]	N°	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	50	4	1	1.13	2.5
2	12	20	2	1.92	21.5

Selezionare		Metodo n	
S.L.U.	[ ]	M	[ ]
N <sub>sd</sub>	0	D	kN
M <sub>sd</sub>	-2.78	D	kNm
M <sub>psd</sub>	0	D	

Punto applicazione N	
<input checked="" type="radio"/> Centro	<input type="radio"/> Baricentro cls
<input type="radio"/> Coord. [cm]	N [cm]
	yN [cm]

Tipo calcolo	
Lato acciaio - Acciaio snervato	<input type="radio"/> S.L.U.+
	<input checked="" type="radio"/> S.L.U.-
	<input type="radio"/> Metodo n

Materiali	
FeB44k	C30/37
E <sub>st</sub>	10
f <sub>yd</sub>	373.9 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>r</sub>	210.000 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15
s <sub>syd</sub>	1.780 %
O <sub>adm</sub>	255 N/mm <sup>2</sup>

M <sub>Rd</sub> : 8.493 kNm	
$\sigma_c$	-15.13 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	373.9 N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon_c$	1.587 %
$\epsilon_s$	10.00 %
d	21.50 cm
x	2.944 x/d 0.1369
$\rho$	0.7000

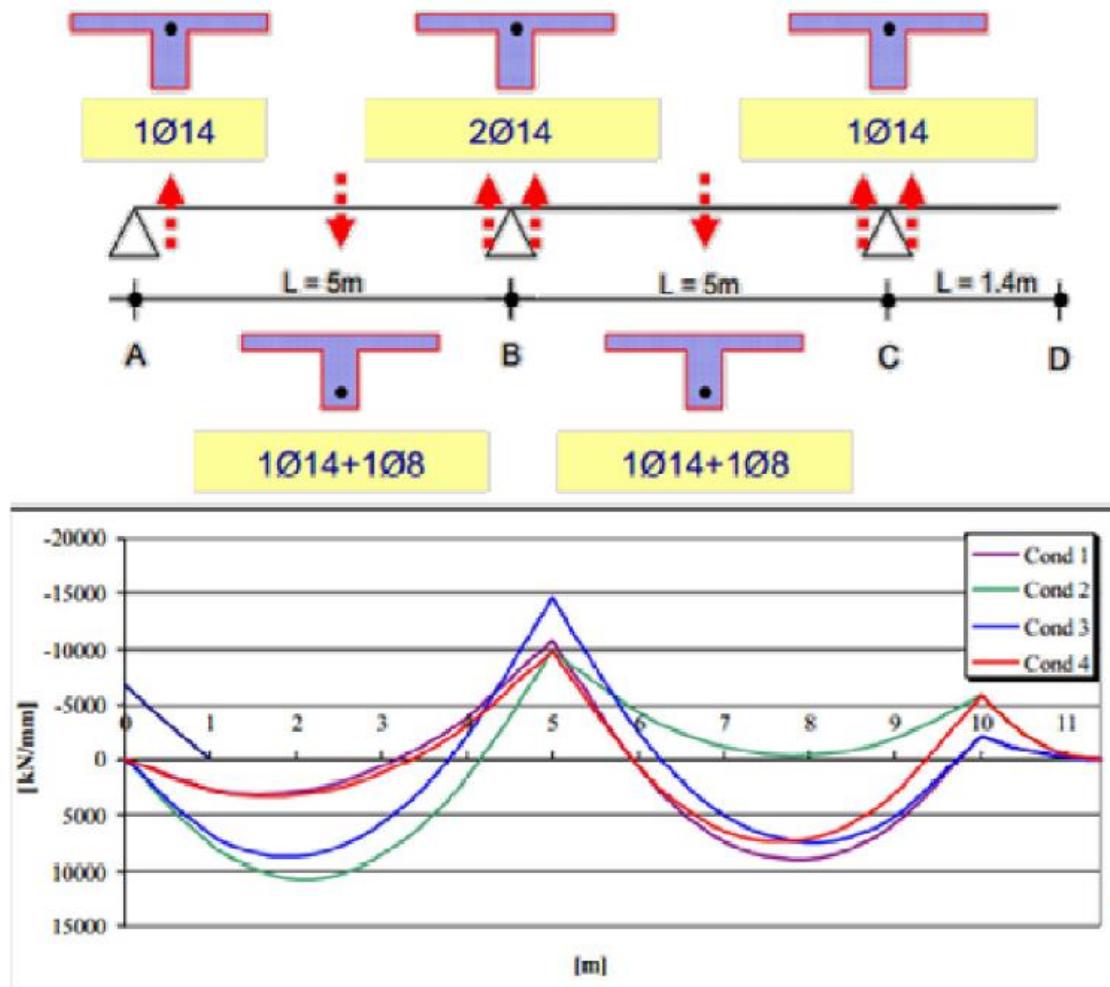
  

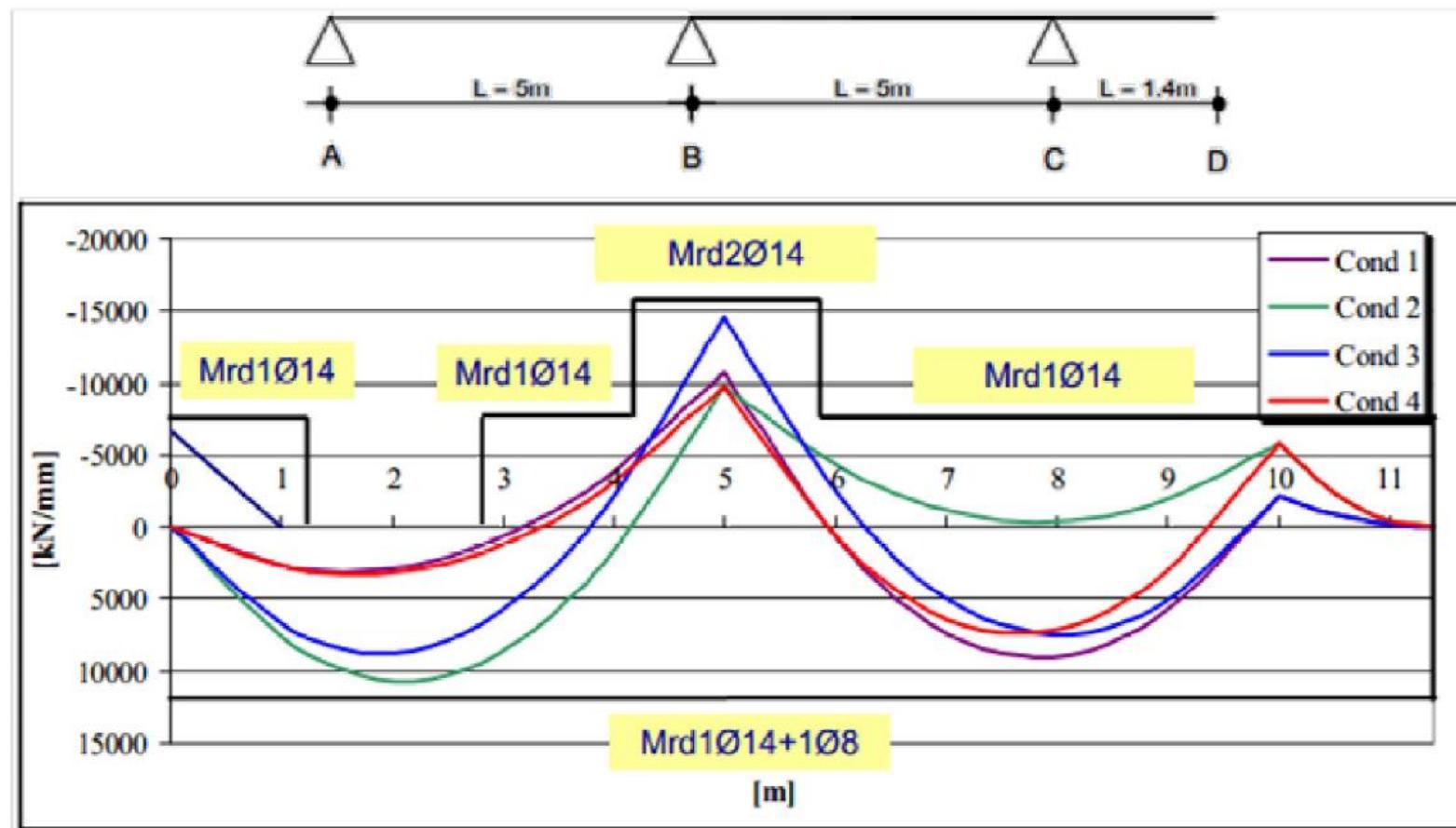
Calcola MRd	
Dominio M-N	
L <sub>0</sub>	0 cm
Col. modello	

  
 Precompresso

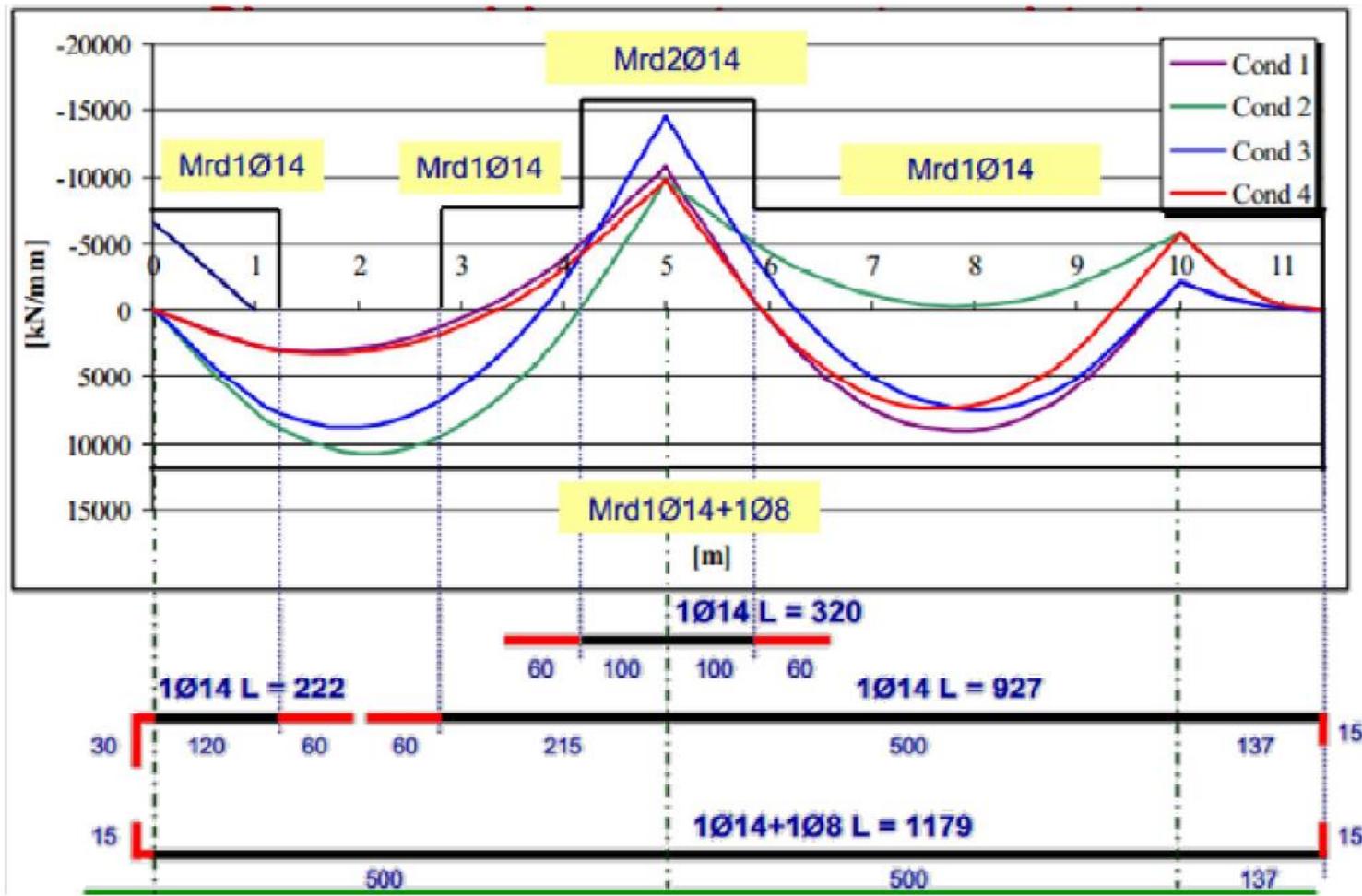
[http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/software/programmi\\_studenti.html](http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/software/programmi_studenti.html)

## Le verifiche di sicurezza a flessione



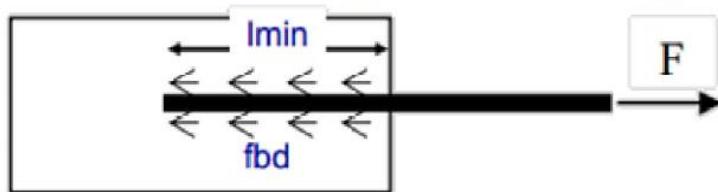


## Lunghezza di ancoraggio



## Lunghezza di ancoraggio

Le barre di armatura devono essere ancorate nelle zone di cls compresso per una lunghezza idonea a prevenire lo sfilamento. La lunghezza di ancoraggio è valutata ipotizzando uno sviluppo costante delle tensioni di aderenza entro la lunghezza di ancoraggio (*ipotesi di Brice*)



La lunghezza di ancoraggio è determinata imponendo l'equilibrio alla traslazione della forza di tiro agente nella barre (F) e della risultante delle forze di aderenza nel cls

$$F = \int_0^l f_{bd} \cdot p \cdot dx \rightarrow F = f_{yd} \cdot A_f = f_{bd} p \cdot l$$

$$l_{min} = f_{yd} \cdot d / 4f_{bd}$$



$$L \approx 40 \phi$$

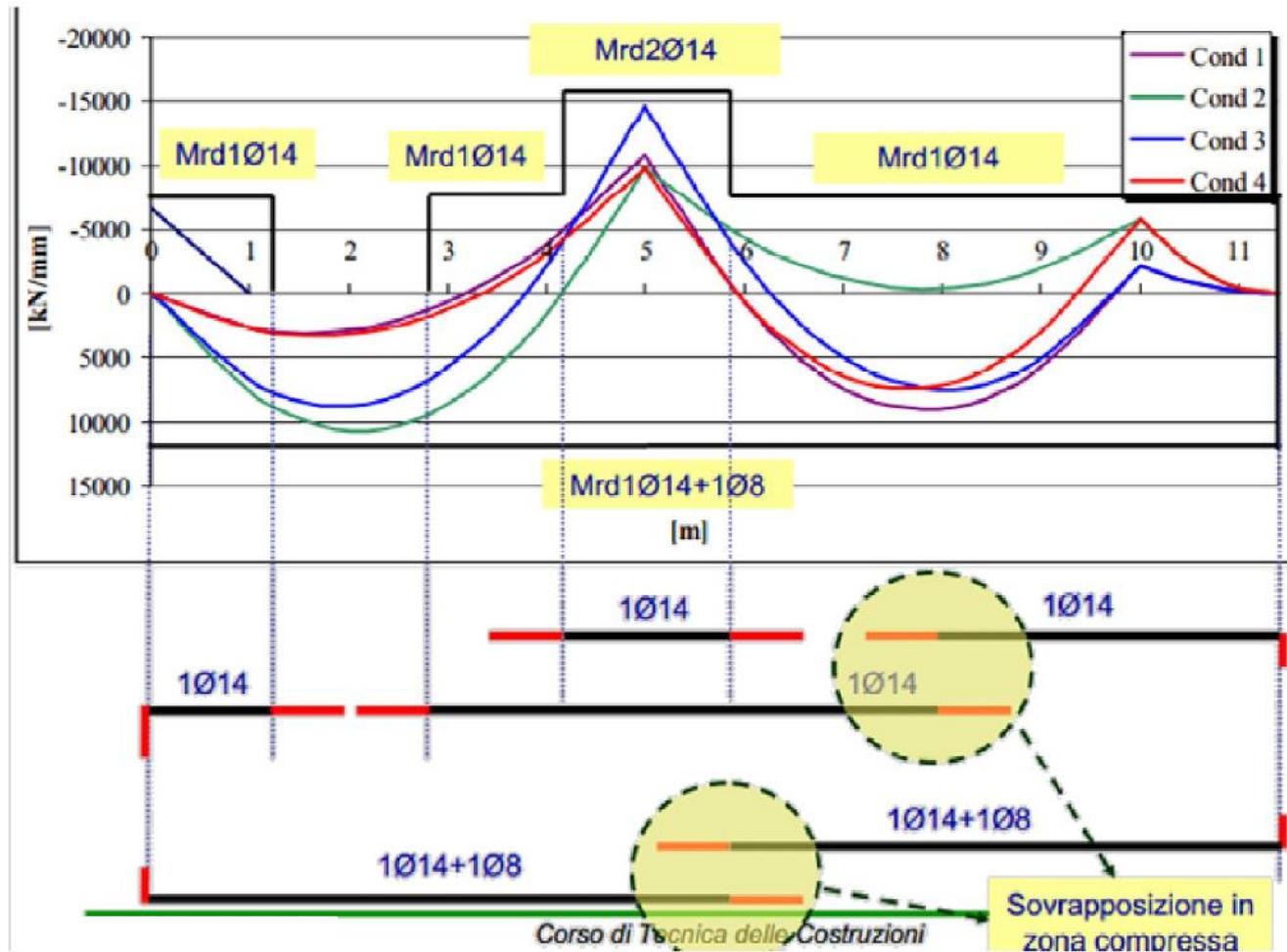
con d= diametro della barra

$$f_{bd} = 2,25 \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$$

$f_{bd}$ =resistenza tangenziale di aderenza

$f_{ctk}$ =la resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo

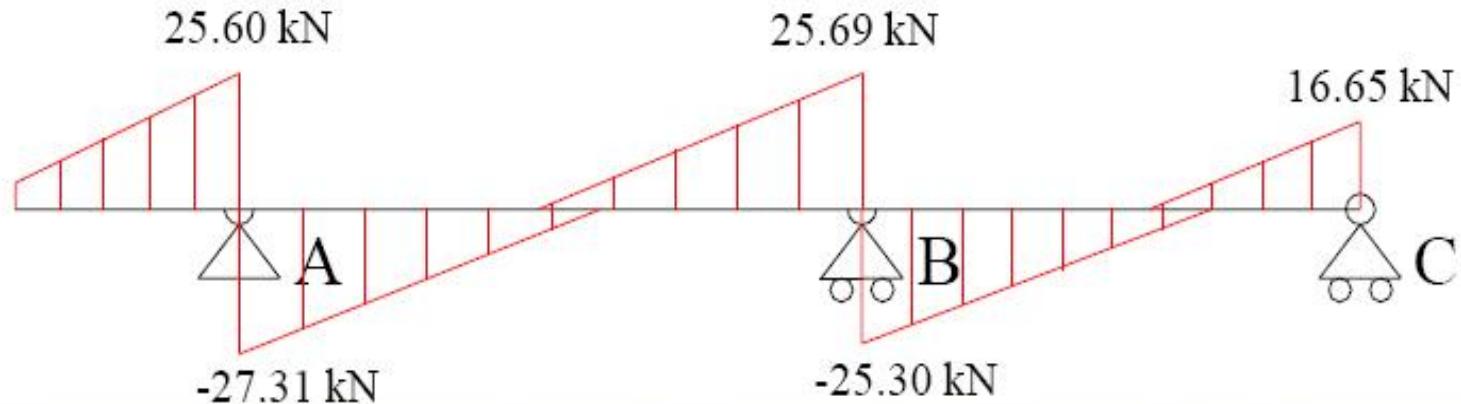
## Lunghezza di ancoraggio



- I ferri devono essere disegnati sotto ad una sezione longitudinale del travetto, in scala 1:50, specificando il diametro dei tondini e le lunghezze dei ferri.
- I ferri non possono avere lunghezze superiori a 12 m
- Un ferro continuo può essere spezzato in più tratti ricorrendo ad un'adeguata sovrapposizione (40  $\phi$ )
- I ferri inferiori possono essere spezzati in corrispondenza degli appoggi (momento positivo nullo)
- I ferri superiori possono essere spezzati in campata (momento negativo nullo)

## CALCOLO DELLE FASCE PIENE

- Il solaio, data la sua capacità di ripartire i carichi trasversalmente, fa parte di quelli elementi che non necessitano di armatura a taglio
- le sollecitazioni di taglio vengono interamente assorbite dal calcestruzzo
- La procedura per il progetto e la verifica a taglio deve essere effettuata in corrispondenza degli appoggi, dove gli sforzi di taglio sono massimi



## Solaio Latero Cementizio - Progetto delle Armature

# CALCOLO DELLE FASCE PIENE

### 4.1.2.3.5.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Se, sulla base del calcolo, non è richiesta armatura al taglio, è comunque necessario disporre un'armatura minima secondo quanto previsto al punto 4.1.6.1.1. È consentito omettere tale armatura minima in elementi quali solai, piastre e membrature a comportamento analogo, purché sia garantita una ripartizione trasversale dei carichi.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad [4.1.22]$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

$f_{ck}$  espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

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

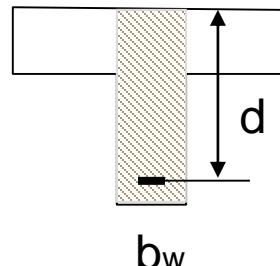
e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\leq 0,02$ ) che si estende per non meno di  $(l_m + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_m$  è la lunghezza di ancoraggio;

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

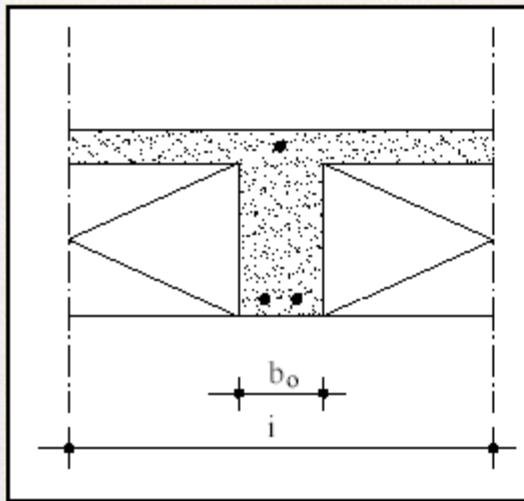
$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).



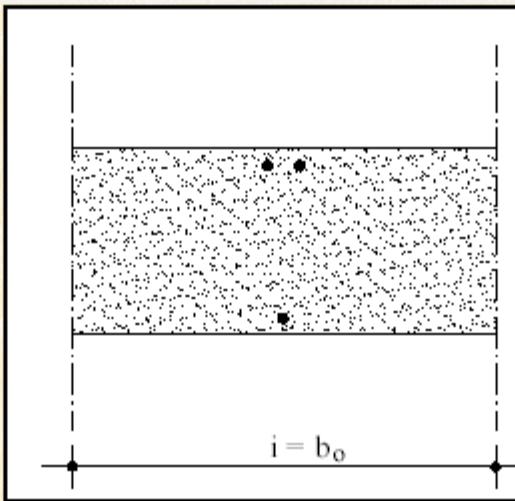
# CALCOLO DELLE FASCE PIENE

## TIPOLOGIE DI FASCIA PIENA

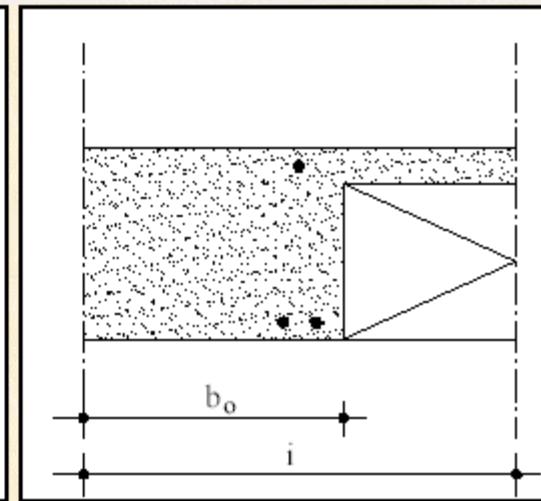
- Realizzazione di una fascia piena (fino a 50-60 cm dall'asse della trave) o semipiena in corrispondenza degli appoggi per assorbire gli sforzi di taglio in eccesso



Sezione in campata



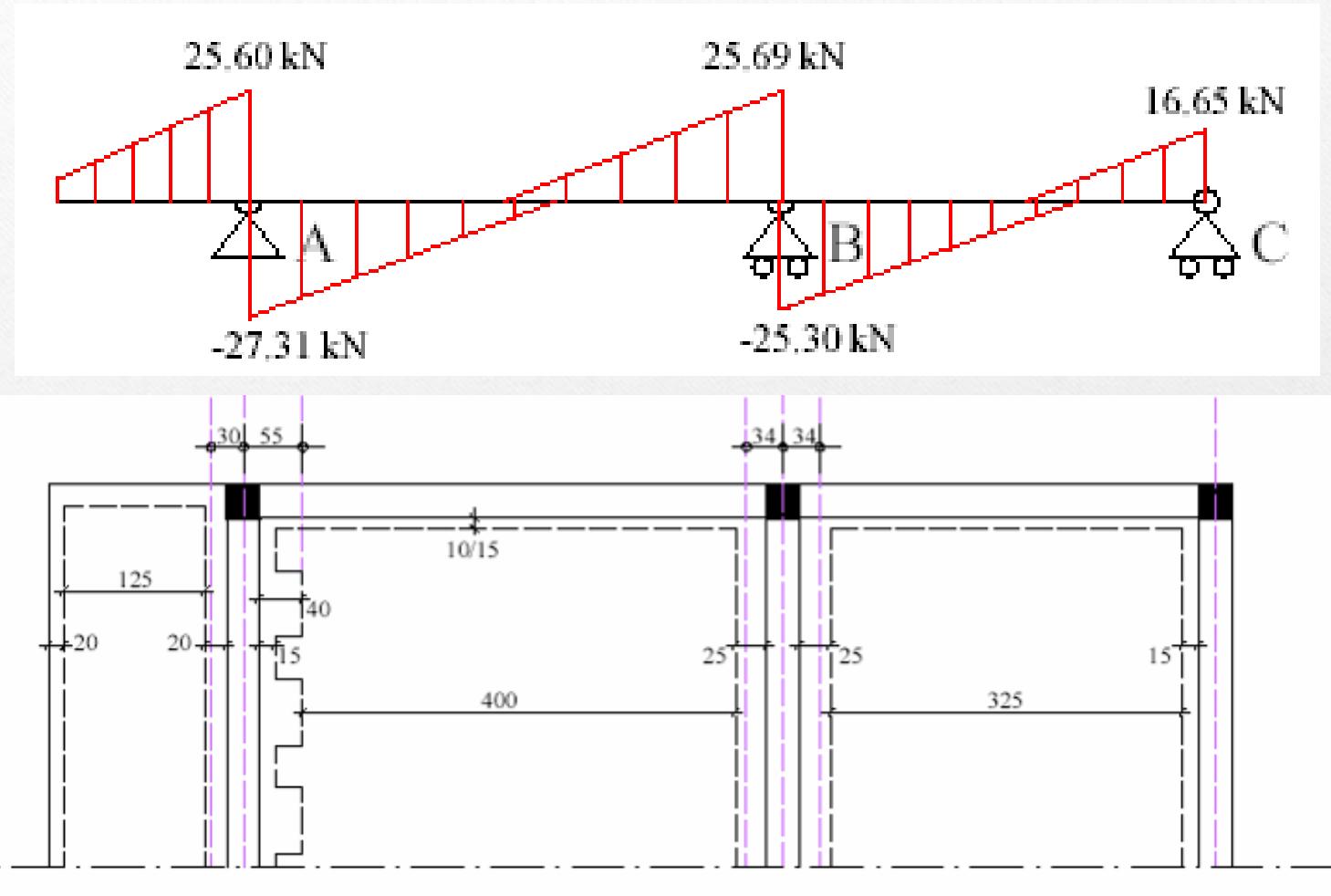
Appoggio:  
Fascia piena



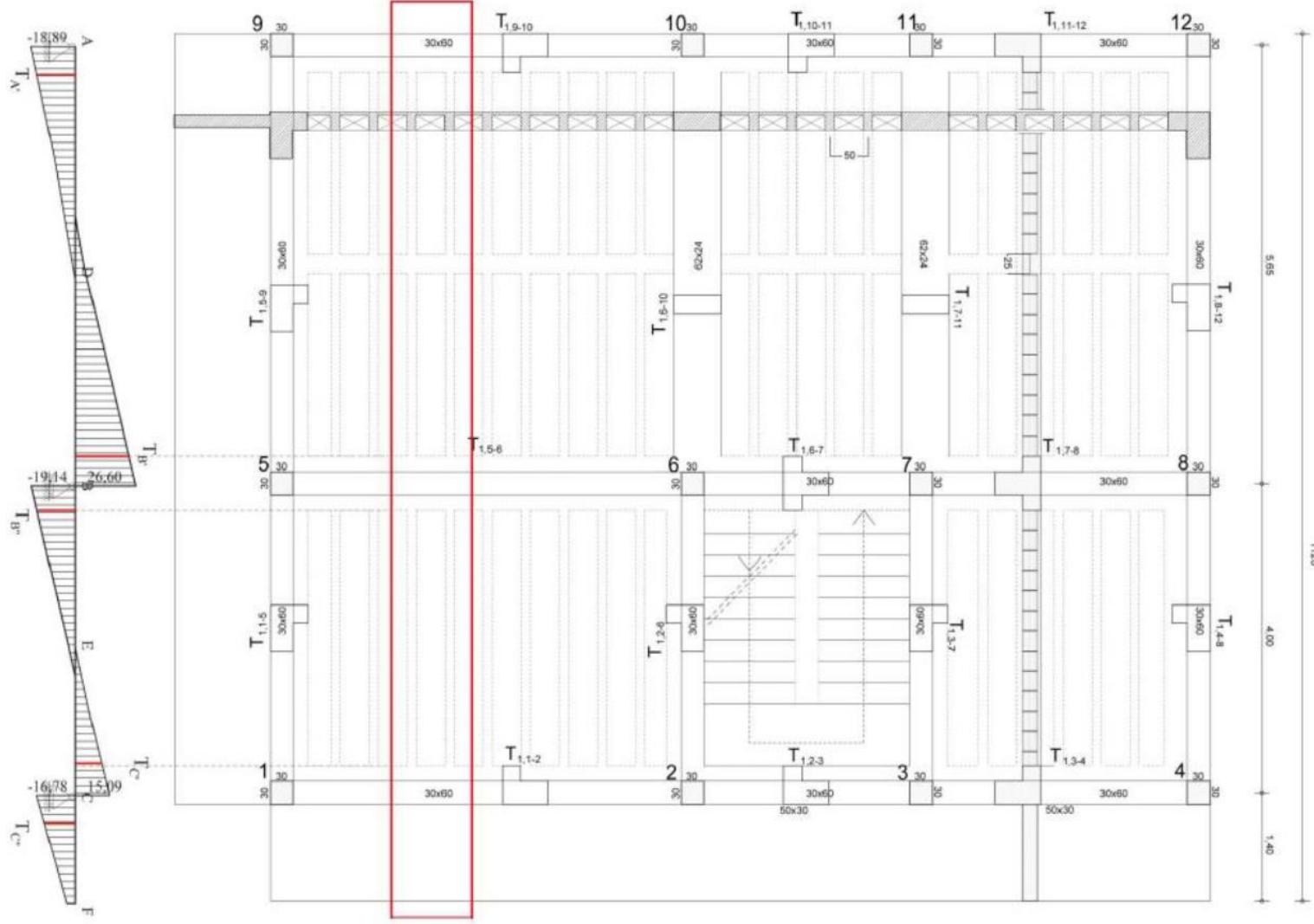
Appoggio:  
Fascia semipiena

# CALCOLO DELLE FASCE PIENE

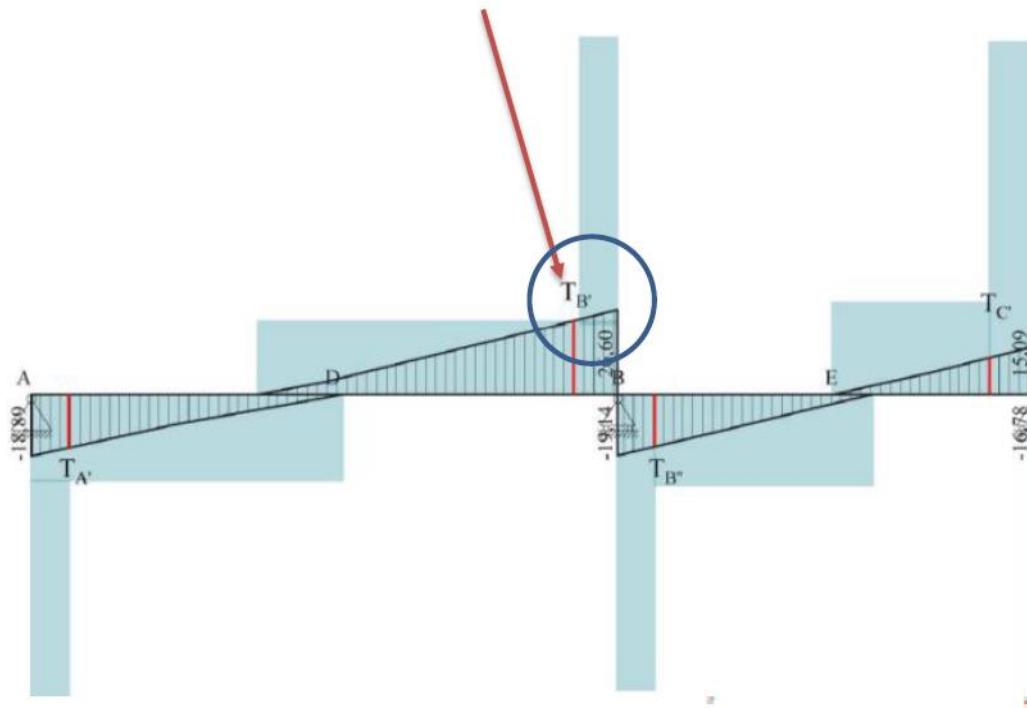
## ESEMPIO



#### Striscia di solaio analizzata



- Dove diagramma gradoni di resistenza a taglio interseca diagramma inviluppo metto una fascia piena (tolgo le pignatte!)



$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_i \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_q \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_q) \cdot b_w d \quad (4.1.14)$$

Le fasce piene aumentano il termine  $b_w$

# CALCOLO DELLE FASCE PIENE

## PARTICOLARI COSTRUTTIVI

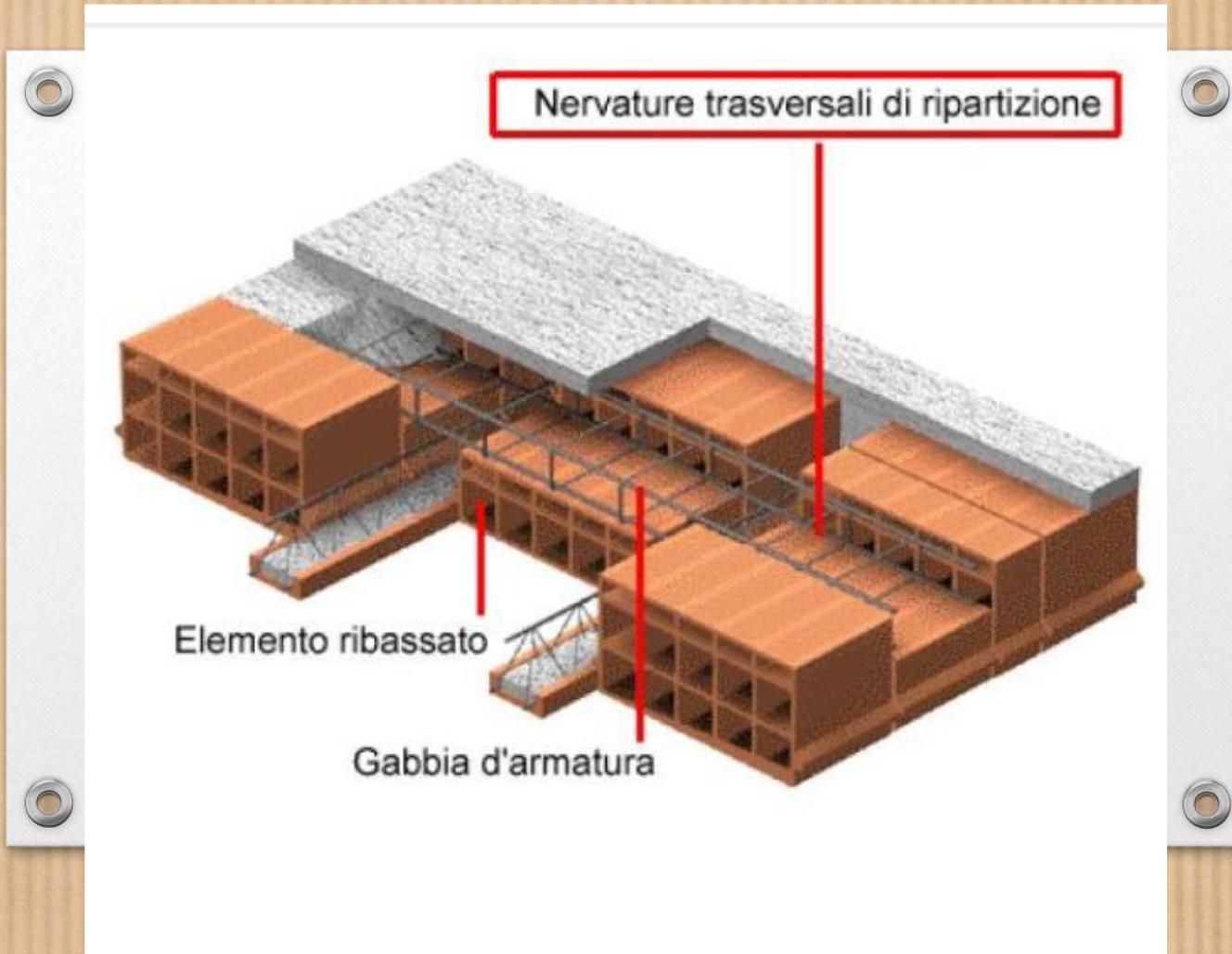


## **Dettagli costruttivi**

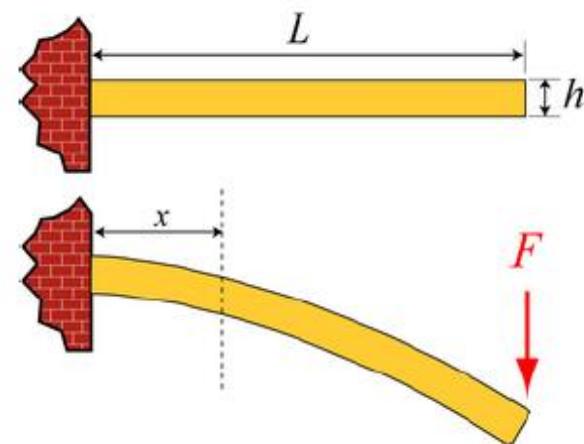
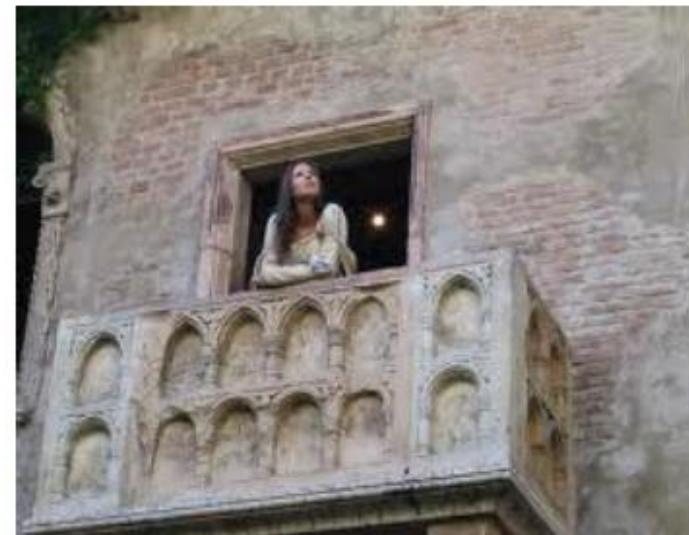
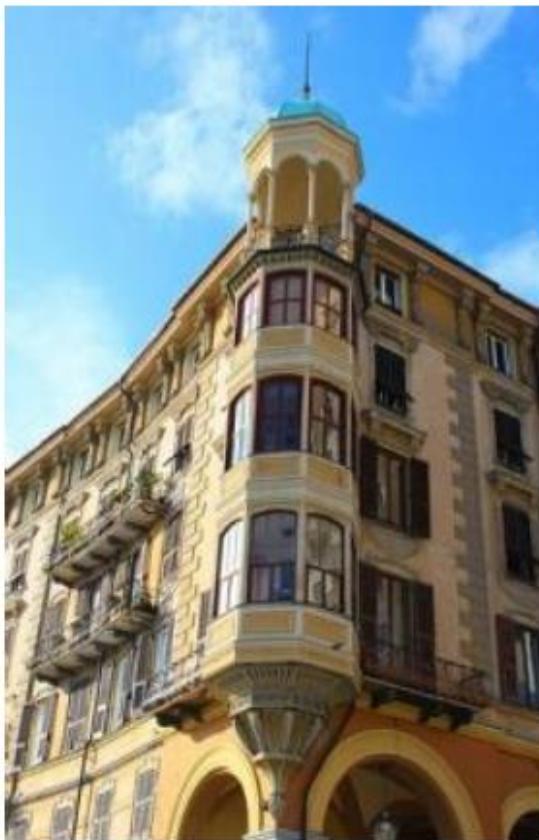
Per luci superiori a 5.50 metri è necessario inserire un travetto rompitratta, o di ripartizione, perpendicolare alla tessitura dei travetti, con base 15 cm (armato con 2 barre all'estr. superiore e 2 barre all'estr. inferiore) allo scopo di aumentare la rigidezza della struttura nel suo insieme

La soletta deve essere armata con una rete elettrosaldata in grado di ripartire i carichi trasversali e assorbire gli effetti del ritiro del calcestruzzo. Il quantitativo minimo previsto dalla normativa (D.M. 09/01/96 punto 7.1.4.6. e punto 5.1.9.1.1.4 del D.M. 14/09/2005) è di  $3\varnothing 6/m$  o il 20% dell'armatura longitudinale di intradosso. Una rete di uso frequente è composta da una maglia quadrata composta da  $\varnothing 6$  con passo 20 cm. Le prescrizioni sulla rete devono essere indicate sui disegni di carpenteria

## Progetto di un solaio Latero-Cementizio

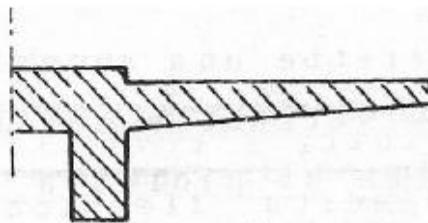


# Sbalzi

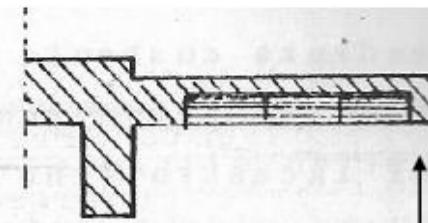


# Sbalzi

Soletta piena



Alleggerito

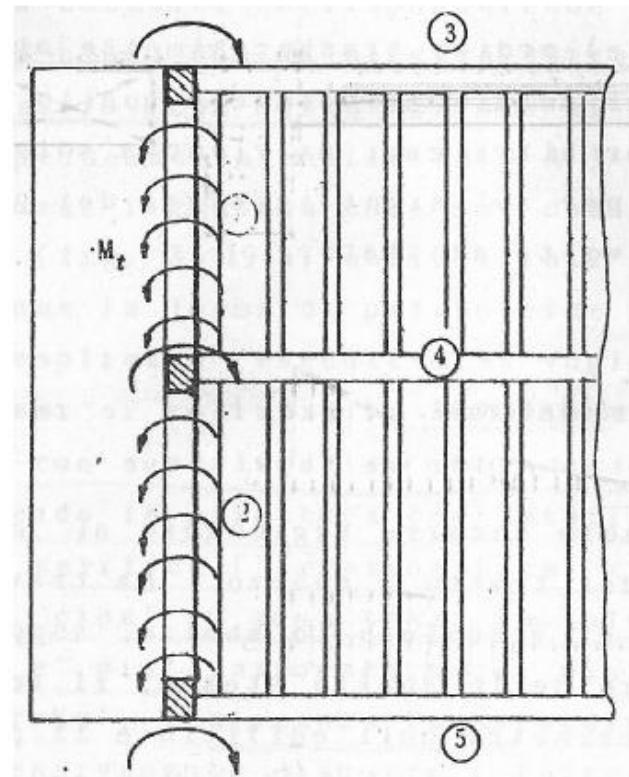


- Solaio a sbalzo
  - Ordito in prosecuzione del solaio retrostante
  - Ordito ortogonalmente al solaio retrostante

Travetto di ripartizione  
in punta

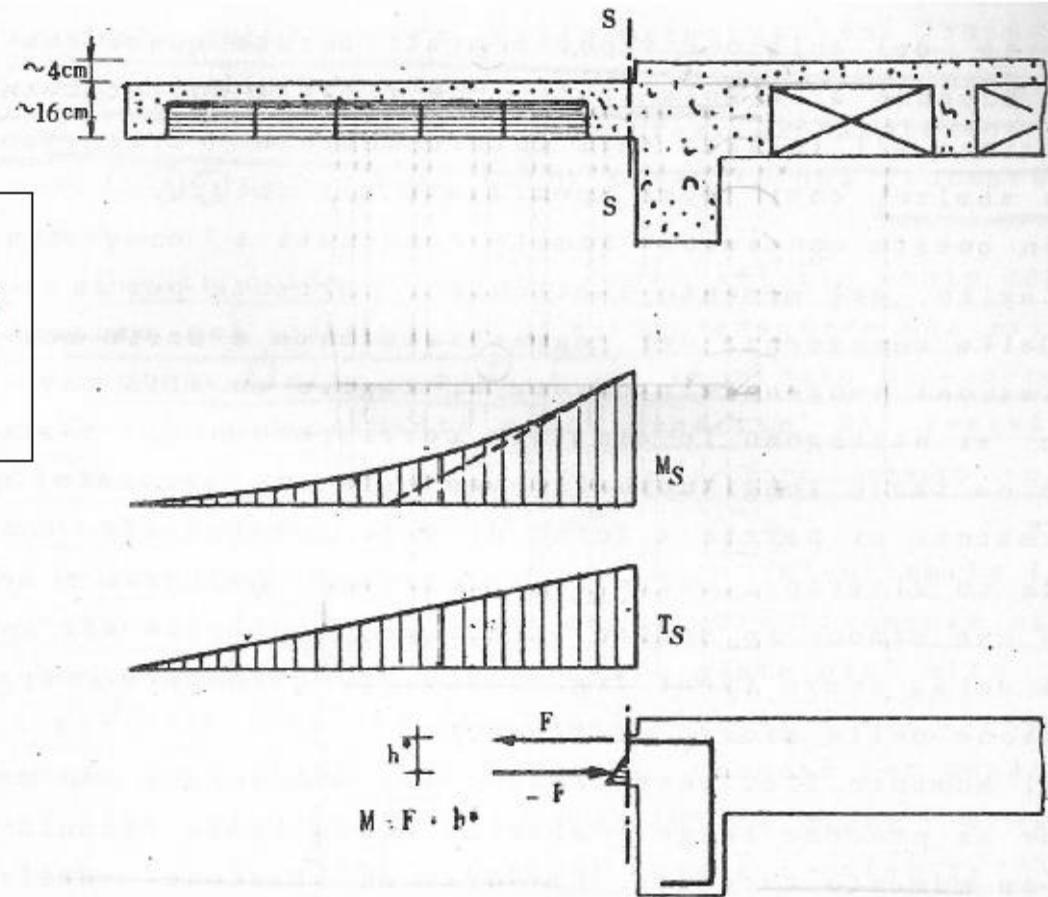
## Primo schema

Momento d'incastro  
dello sbalzo assorbito  
attraverso torsione  
della trave di bordo



## Primo schema

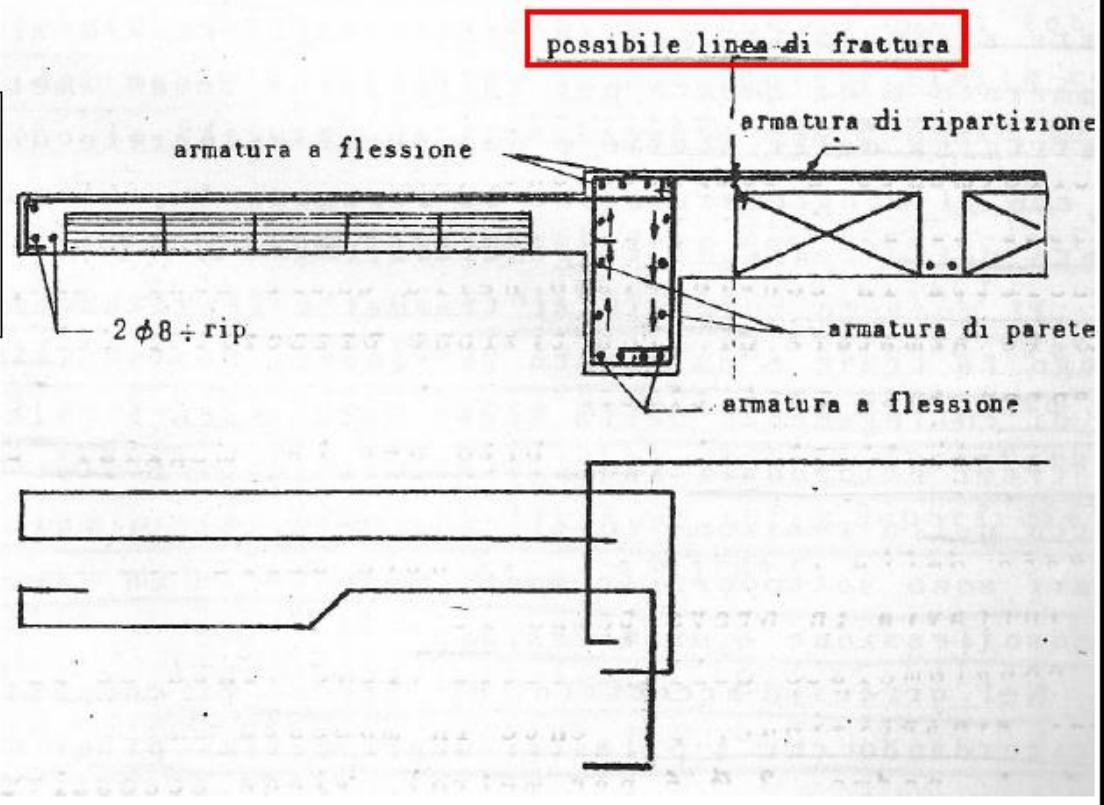
Momento d'incastro  
dello sbalzo assorbito  
attraverso torsione  
della trave di bordo



# Sbalzo ordito ortogonalm. al solaio retrostante

## Primo schema

Momento d'incastro  
dello sbalzo assorbito  
attraverso torsione  
della trave di bordo



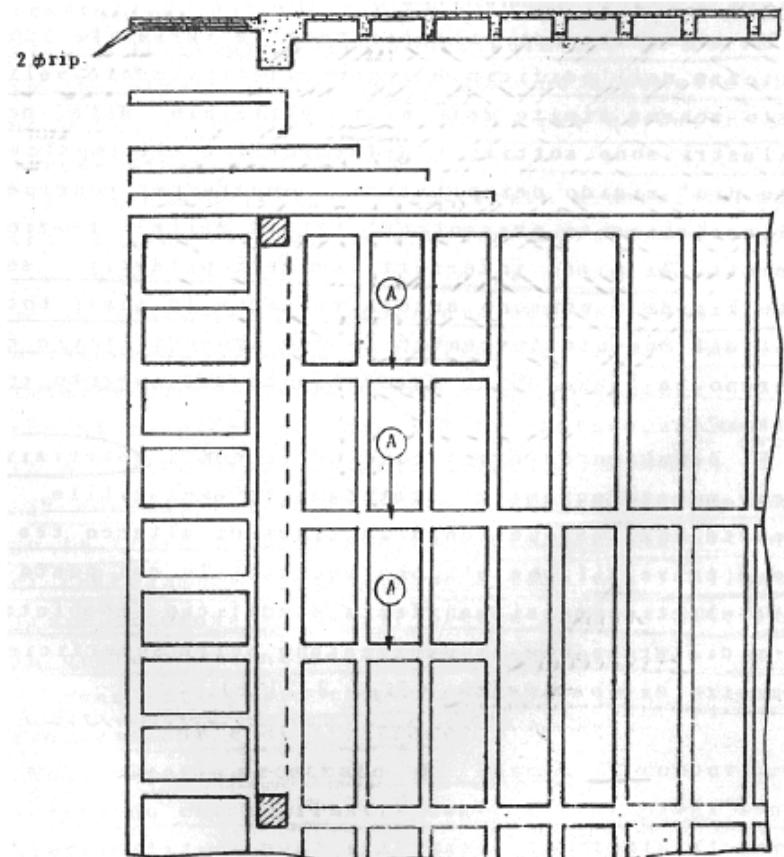
# Sbalzo ordito ortogonalm. al solaio retrostante

## Secondo schema

Momento d'incastro  
dello sbalzo assorbito  
dal solaio retrostante

Devono inserirsi nel solaio  
retrostante, ortogonalmente  
alla sua orditura, una  
armatura metallica diffusa  
nella soletta e travetti pieni  
discontinui (A)

Interasse travetti  $\approx 1.5 - 2.0$  m  
armati con quattro barre + staffe



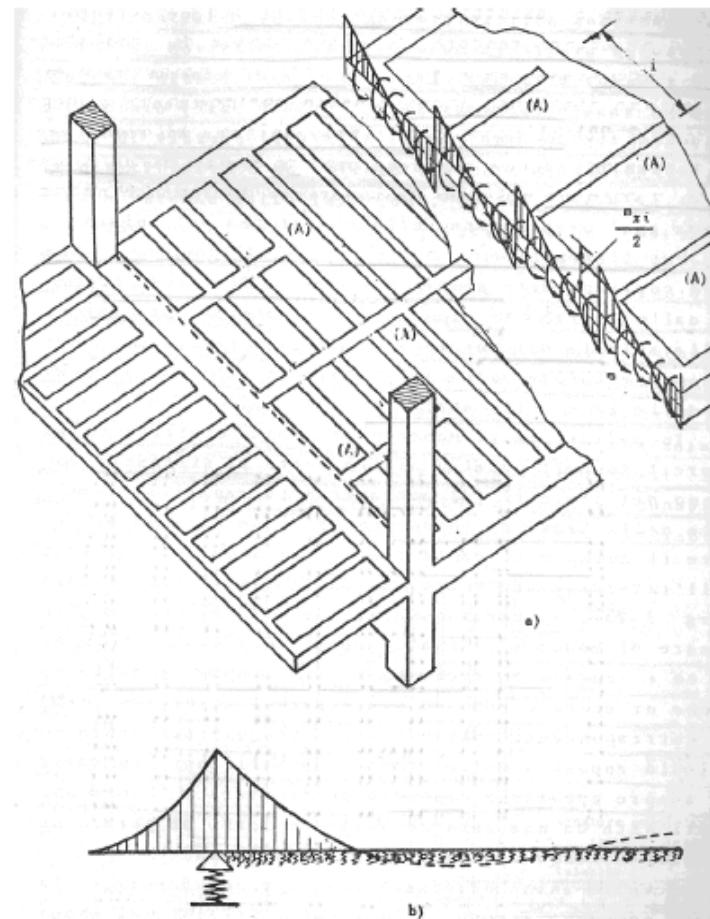
# Sbalzo ordito ortogonalm. al solaio retrostante

## Secondo schema

Momento d'incastro  
dello sbalzo assorbito  
dal solaio retrostante

Possibile schema statico per i  
travetti (A)

Smorzamento rapido delle  
sollecitazioni → in genere è  
sufficiente prolungare i travetti (A)  
fino al terzo travetto del solaio

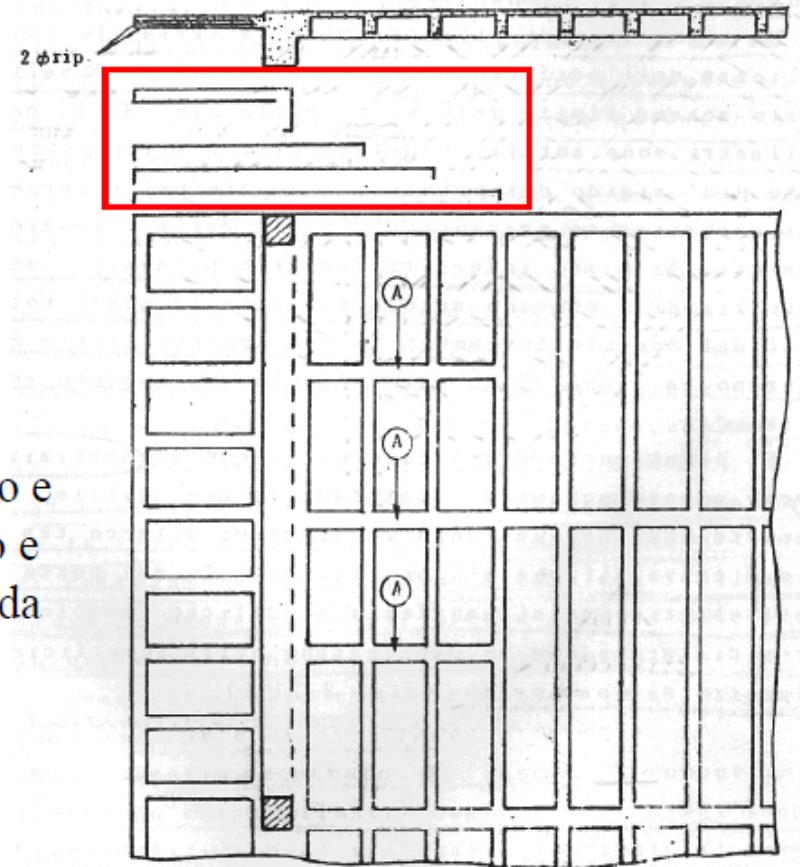


# Sbalzo ordito ortogonalm. al solaio retrostante

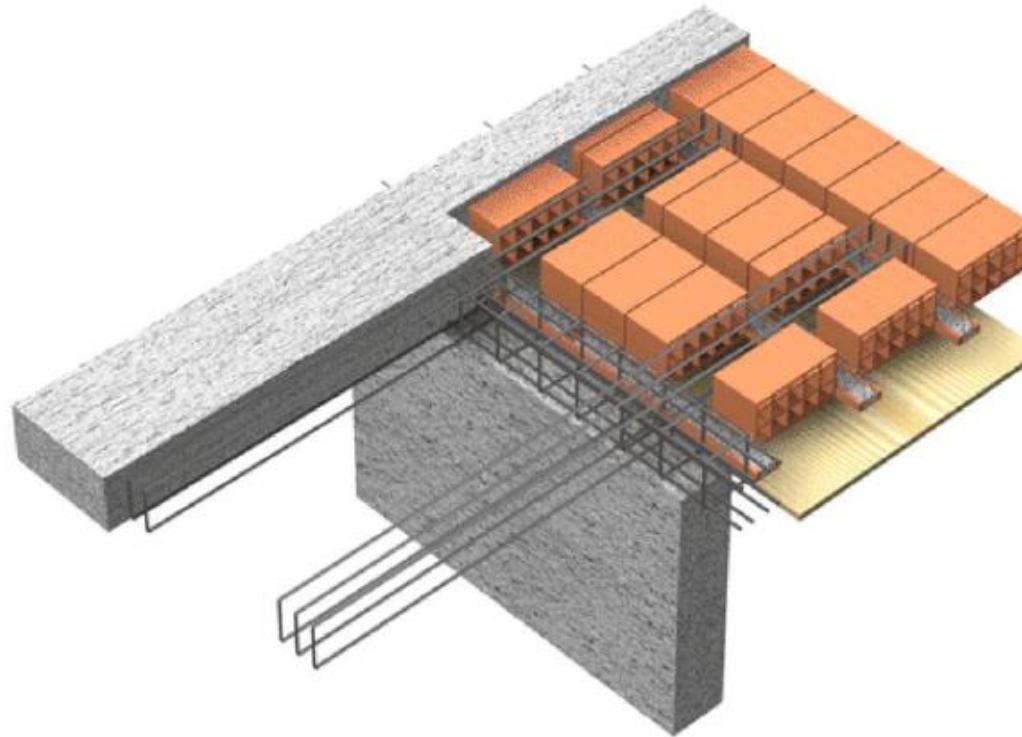
## Secondo schema

Momento d'incastro  
dello sbalzo assorbito  
dal solaio retrostante

Le armature dello sbalzo di  
prolungano nella soletta del solaio e  
si piegano nel primo, nel secondo e  
talvolta nel terzo travetto a seconda  
della luce dello sbalzo



## ARMATURA SBALZO LATERALE



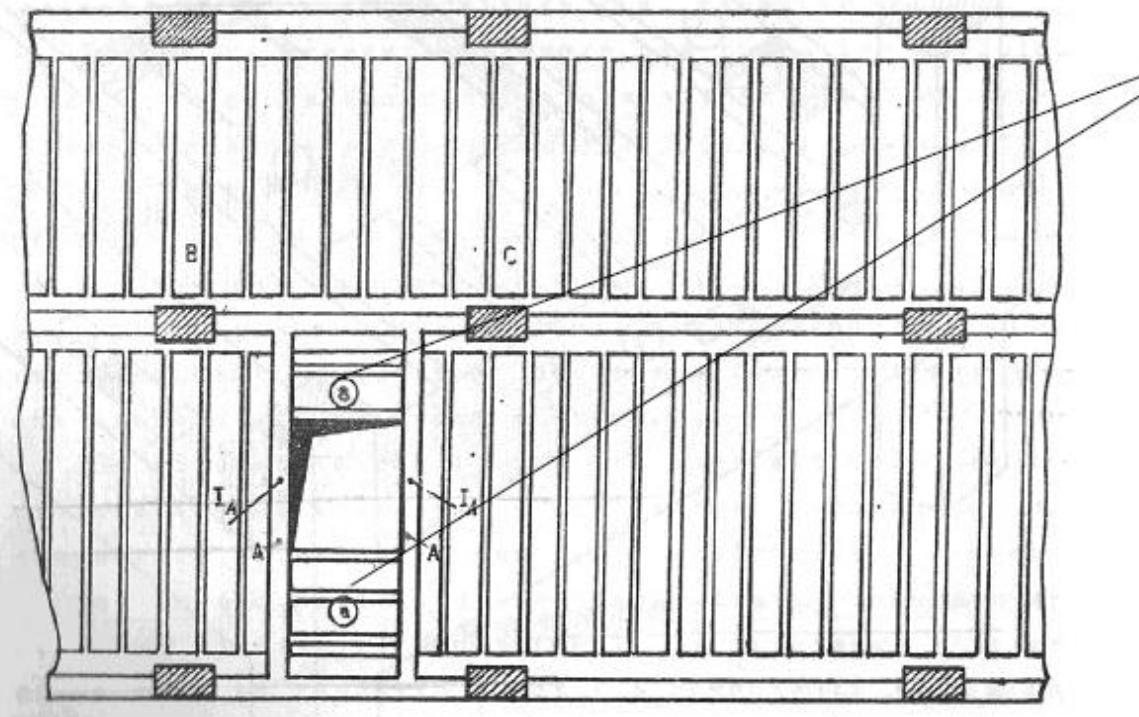
***Corretta esecuzione di uno sbalzo ortogonale alla direzione di tessitura del solaio***

# Fori nei solai

- Necessari per realizzare attraversamenti impianti (elettrico, termico, sanitario, telefonico, canne fumarie, ascensori, montacarichi, ecc.) o altre comunicazioni verticali (scale interne)
- Dimensioni variabili da qualche cm a oltre un metro
- Opportuno prevedere l'esatta ubicazione in fase progettuale per evitare improvvisazioni o interventi successivi
- La rilevanza statica del foro aumenta con le sue dimensioni

# Fori nei solai

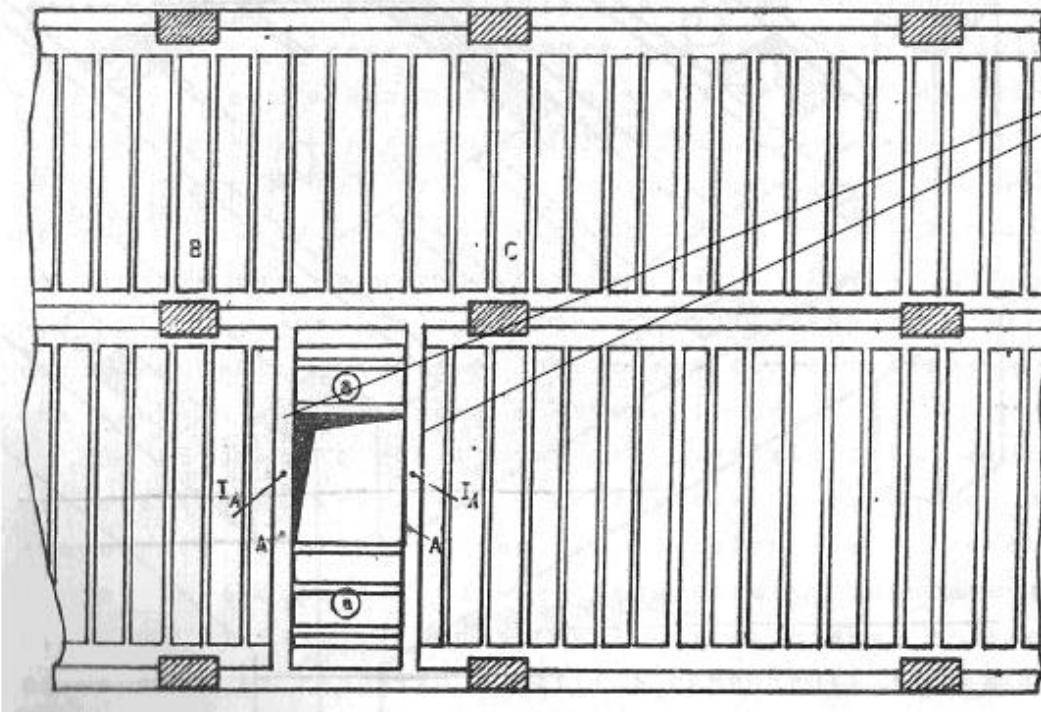
- **Caso A:** travi parallele al solaio principale e cambio orditura del solaio nella zona adiacente il foro



Travetti del solaio:  
possono considerarsi  
appoggiati e  
contemporaneamente  
con un parziale grado  
di incastro

# Fori nei solai

- **Caso A:** travi parallele al solaio principale e cambio orditura del solaio nella zona adiacente il foro



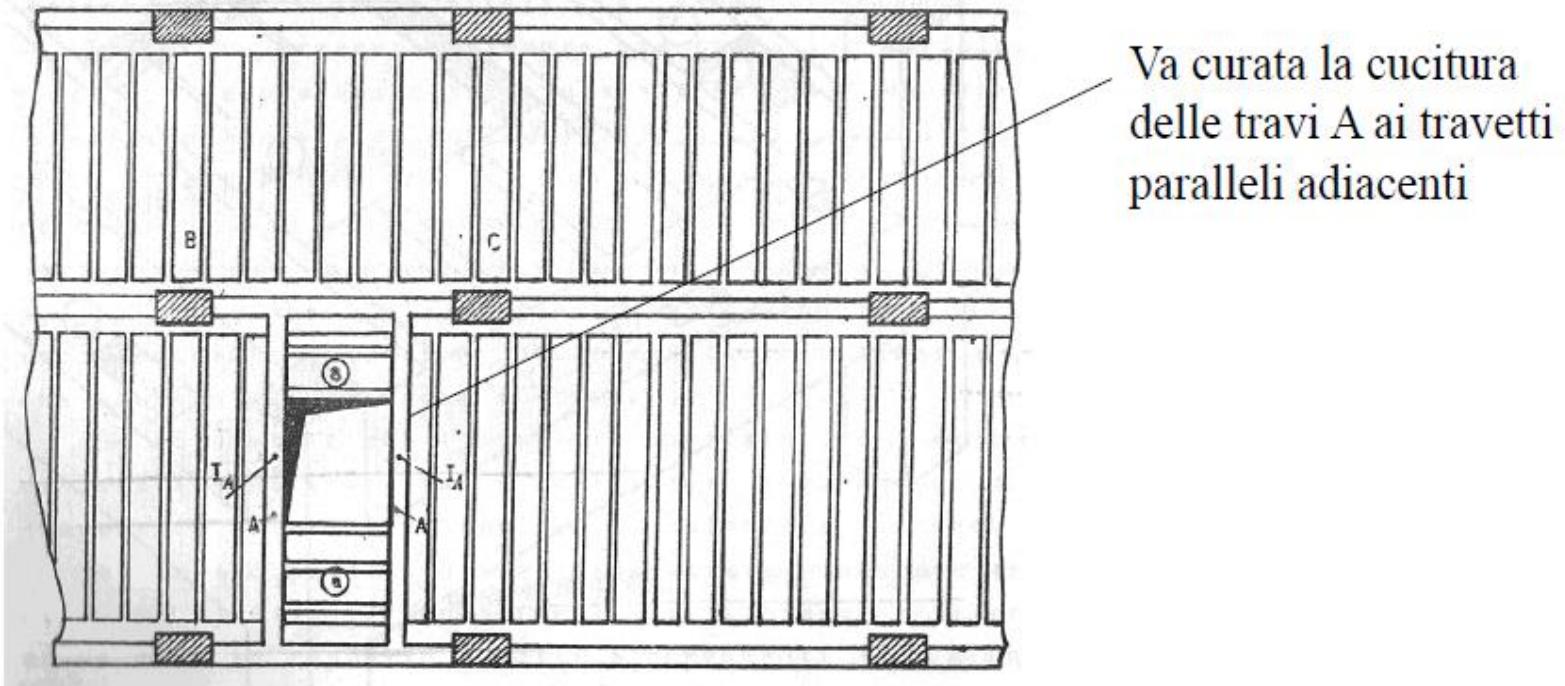
Travi:

possono considerarsi appoggiate e contemporaneamente continue con la campata retrostante del solaio

Inerzia  $2I_A$  per la trave e  $nI_i$  per il solaio retrostante

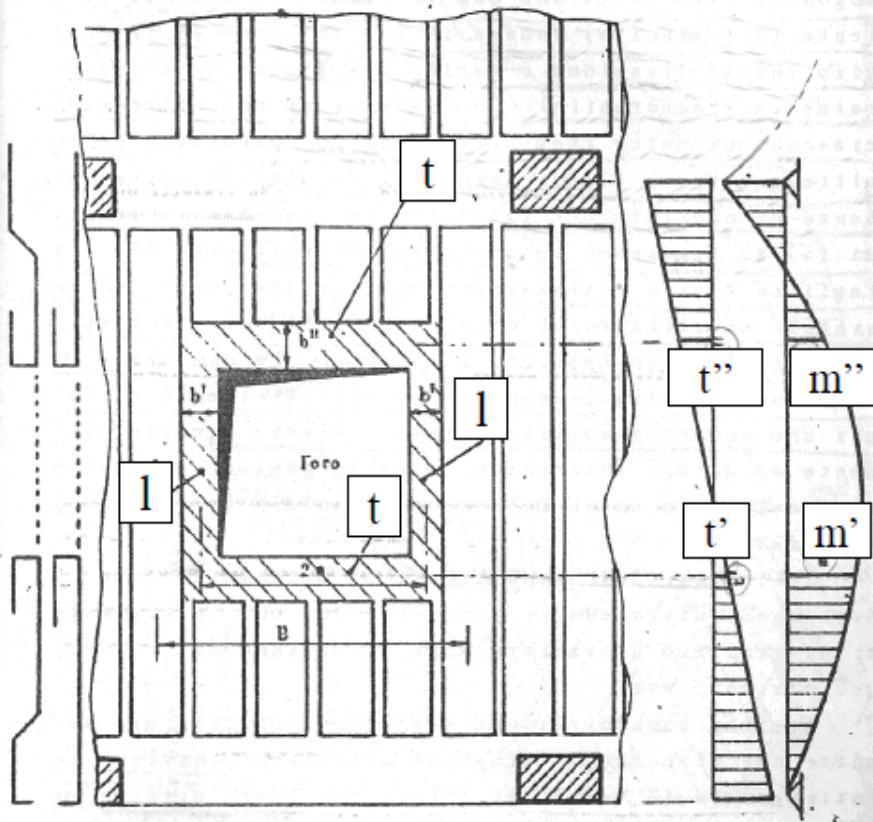
# Fori nei solai

- **Caso A:** travi parallele al solaio principale e cambio  
orditura del solaio nella zona adiacente il foro



# Fori nei solai

- **Caso B:** telaio orizzontale lungo il bordo del foro

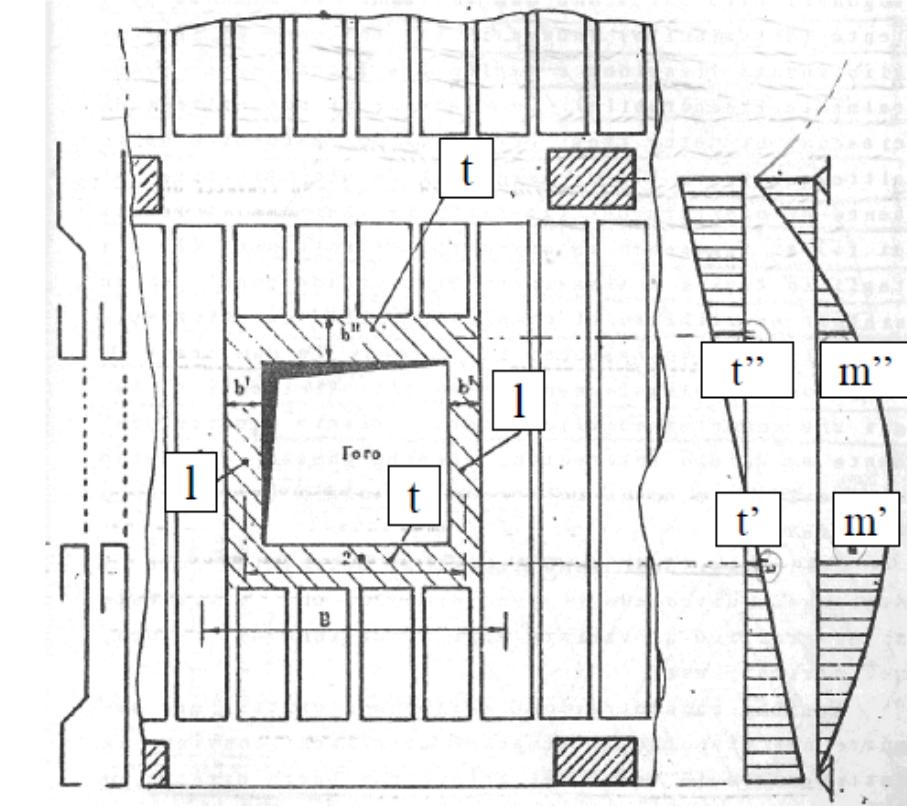


Il telaio deve assorbire tutte le sollecitazioni che la zona eliminata di solaio assorbiva lungo il suo contorno

Si suppone per semplicità che siano ancora validi i diagrammi di momento e taglio in assenza del foro

# Fori nei solai

- **Caso B:** telaio orizzontale lungo il bordo del foro



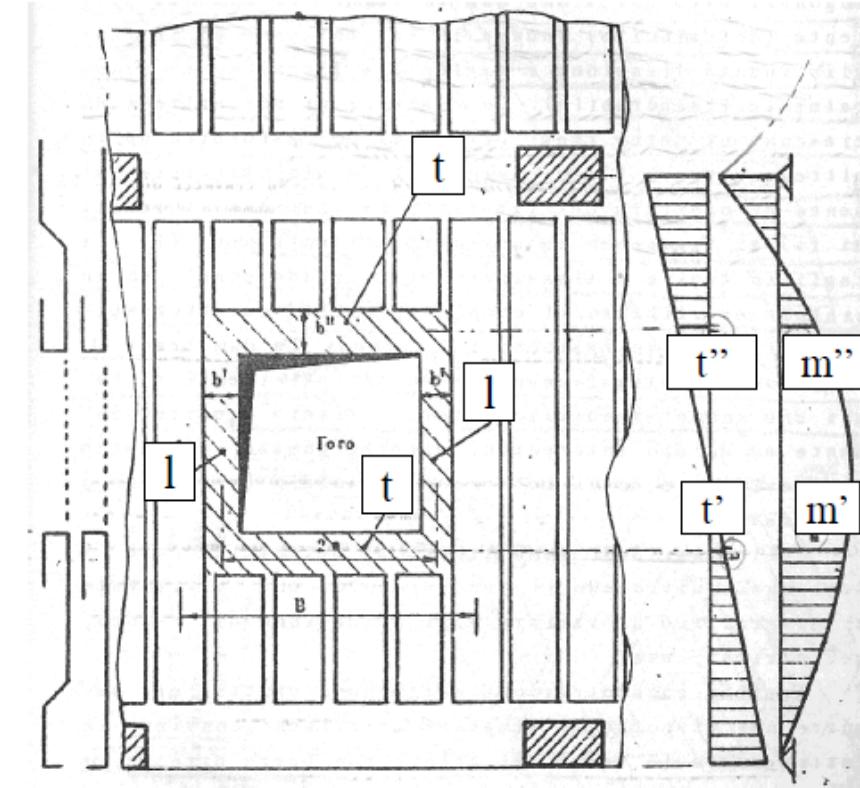
Travi t

I valori di momento e taglio ai bordi della zona eliminata si considerano agenti sulle travi t

Il momento flettente genera torsione e il taglio genera taglio e flessione

# Fori nei solai

- **Caso B:** telaio orizzontale lungo il bordo del foro



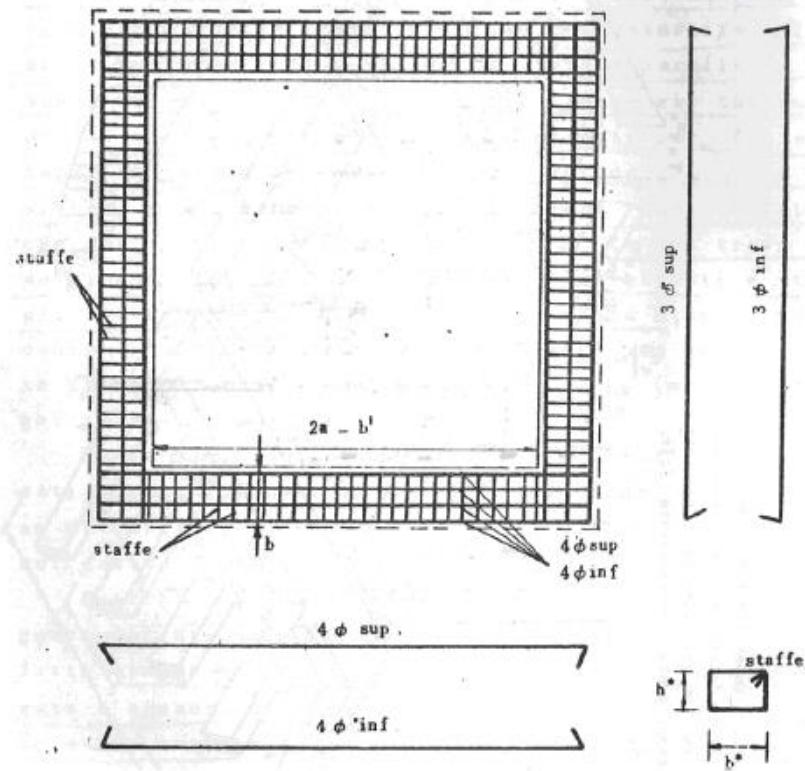
Travi 1

Le reazioni agli estremi delle travi t agiscono sulle travi 1

Le reazioni torcenti generano flessione e quelle taglienti generano taglio e flessione

# Fori nei solai

- **Caso B:** telaio orizzontale lungo il bordo del foro

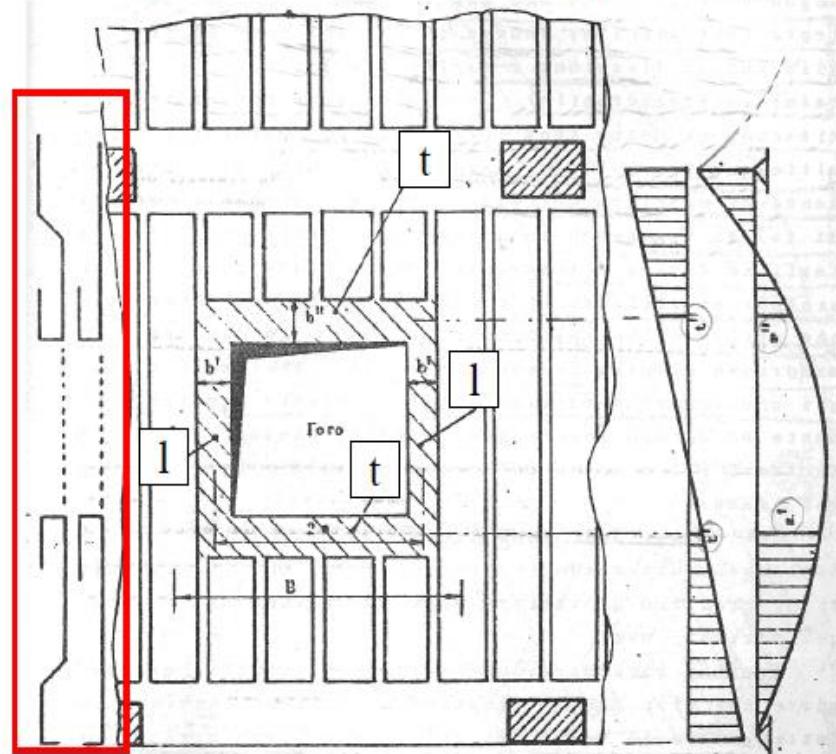


Armature principalmente da torsione nelle travi t, da flessione nelle travi l

Staffe ai lati del foro

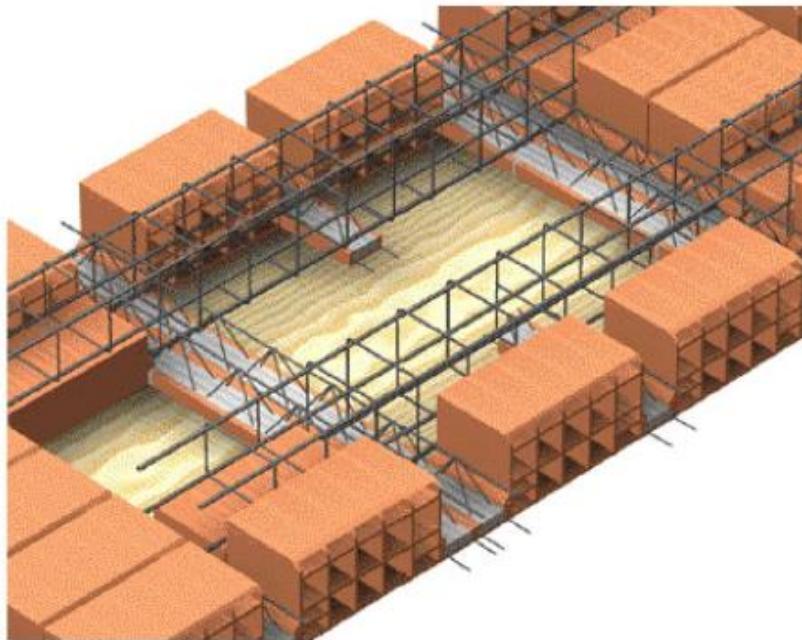
# Fori nei solai

- **Caso B:** telaio orizzontale lungo il bordo del foro



Cucitura solaio alle travi t

# Fori nei solai



***Esecuzione di fori in un impalcato a travetti tralicciati***

# Fori nei solai

**Particolare di foro realizzato con l'affiancamento di due o più travetti di rinforzo atti a sostenere il "bilancino" gettato in opera**

