

Edifici in cemento armato

Dettagli costruttivi

Catania, 30 marzo 2004

Nino Russo

QUELLI CHE S'INNAMORAN DI PRATICA SENZA SCIENZA SONO COME 'L NOCCHIERE, CH'ENTRA IN NAVILIO SENZA TIMONE O BUSSOLA, CHE MAI HA CERTEZZA DOVE SI VADA. SEMPRE LA PRATICA DEVE ESSERE EDIFICATA SOPRA LA BUONA TEORICA...

Leonardo da Vinci

Dettagli costruttivi

AL FINE DI RAGGIUNGERE IL DESIDERATO LIVELLO PRESTAZIONALE LA STRUTTURA DEVE POSSEDERE BUONI DETTAGLI COSTRUTTIVI.

L'IMPORTANZA DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI NON PUO' ESSERE TRASCURATA SOPRATUTTO IN ZONA SISMICA. LE PRINCIPALI CAUSE DI DANNO NELLE STRUTTURE DOPO IL SISMA POSSONO ESSERE ATTRIBUITE AD UNA SCARSA CURA NEI DETTAGLI COSTRUTTIVI.

Sommario

- DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE

- Travi
- Pilastri
- Pareti
- Pareti accoppiate e travi di accoppiamento

- CRITERI DI VERIFICA DEI NODI

- I SOLAI QUALI DIAFRAMMI -CRITERI DI VERIFICA DI ELEMENTI BI-DIMENSIONALI

- EFFETTI DEL SISMA SULLE PARTI NON STRUTTURALI

Disposizioni costruttive

(Art of Detailing)

Nel par. 5.2.3.7 dell'EC8 (2002) si legge:

(1)P La natura aleatoria delle azioni sismiche e del comportamento ciclico post-elastico delle strutture in calcestruzzo, comporta un aumento delle incertezze sulla configurazione strutturale, sulle analisi, sulla resistenza e sulla duttilità rispetto al caso non sismico. Per ridurre tali incertezze è necessario adottare delle misure.

(2)P L'incertezza sul valore di resistenza può essere dovuto ad errori geometrici. Al fine di minimizzare questi problemi si possono applicare le seguenti regole:

a) Le dimensioni minime degli elementi strutturali devono essere rispettate (5.5.1.2) per diminuire la sensibilità agli errori geometrici.

Disposizioni costruttive

(Art of Detailing)

- b) Il rapporto tra la dimensione minima e massima dell'elemento strutturale deve essere limitato per minimizzare i problemi di instabilità laterale.
- c) Gli spostamenti di interpiano devono essere limitati per limitare gli effetti $P-\Delta$ nelle colonne.
- d) Una percentuale dell'armatura superiore della trave nella sezione di appoggio deve essere prolungata per tutta la lunghezza della trave per tenere conto delle incertezze legate alla posizione del punto di inflessione.
- e) Una quantità di armatura deve essere disposta nelle zone critiche della trave per tenere conto dell'inversione dei momenti non mostrati dalle analisi.

Disposizioni costruttive

(Art of Detailing)

(3)P L'incertezza sulla duttilità può essere minimizzata se il progettista conferisce:

- a) Una duttilità locale minima a tutti gli elementi strutturali principali, indipendentemente dalla classe di duttilità adottata nel progetto.
- b) Una quantità minima di armatura per evitare rotture fragili.
- c) Lo sforzo normale di progetto normalizzato limitato

$$v_d = \frac{N_{Sd}}{A_c f_{cd}}$$

Travi

Definibilità in funzione di v_d

- L'EC8 definisce le travi come elementi strutturali sollecitati da azioni trasversali e da uno sforzo normale v_d di progetto normalizzato pari ad:

$$v_d = \frac{N_{Sd}}{A_c f_{cd}} \leq 0.05$$

Per un calcestruzzo di classe $R_{ck} = 30\text{Mpa}$ e per una sezione 30x50:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.83R_{ck}}{1.60} = \frac{0.83 \cdot 30}{1.60} = 15.6\text{Mpa} \Rightarrow N_{Sd} = 0.05 \cdot 150 \cdot 15.6 = 117\text{ kN}$$

- La circolare 10-4-1997, N. 65/AA. GG. definisce:

$$N_{Sd} \leq 0.05 A_c R_{ck} \chi \quad \text{con} \quad \chi \begin{cases} 1 & \text{per le t.a.} \\ 1.5 & \text{per gli s.l.} \end{cases}$$

$$N_{Sd} = 0.05 \cdot 150 \cdot 30 \cdot 1.5 = 337\text{ kN}$$

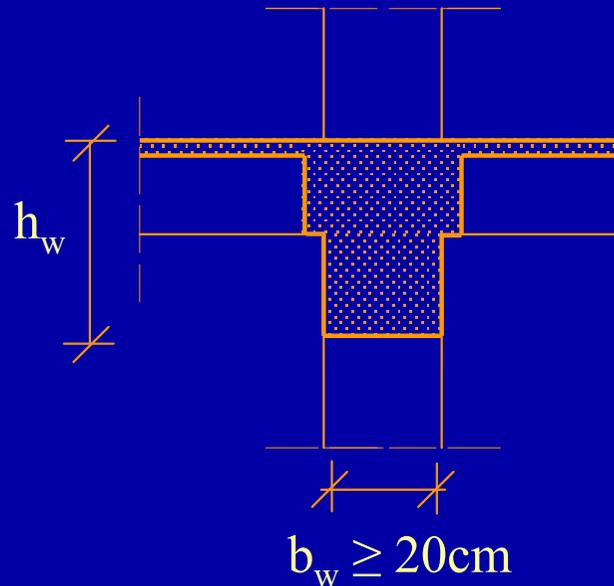
Travi

Limiti geometrici (par.5.5.2.1)

La larghezza della trave, b_w , non deve essere minore di 20 cm. Il rapporto b_w/h_w non deve essere minore di 0,25.

Travi a nervatura

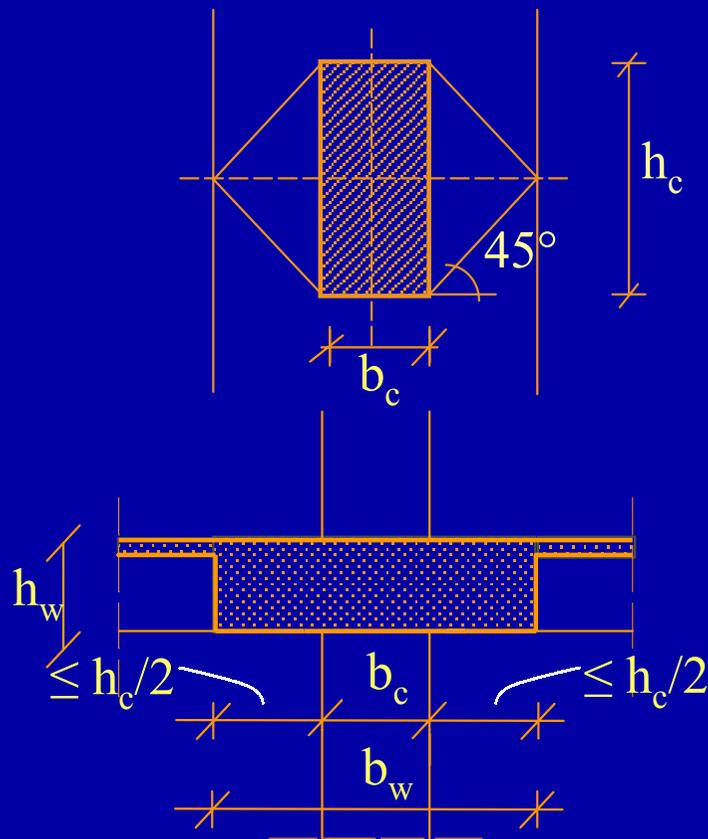
$$b_w \geq 0.25 h_w$$



Travi

Limiti geometrici (par.5.5.2.1)

Travi in spessore



Secondo OPCM (e circ. 10-4-1997,
N.65/AA. GG.):

$$b_w \leq b_c + h_c$$

Es. : $b_c = 30\text{cm}$ $h_c = 100\text{cm}$
 $b_w = 130\text{cm}$

Secondo EC8:

$$b_w \leq \min(b_c + h_w; 2b_c)$$

Es. : $b_c = 30\text{cm}$ $h_w = 25\text{cm}$
 $b_w \leq \min(30 + 25; 60) = 55\text{cm}$

Travi

DEFINIZIONE

- Se $L \geq 3h$

- Se $V_{Sd} \leq 4bd\tau_{Rd}$ $\tau_{Rd} = \frac{R_{ck}^{2/3}}{28}$

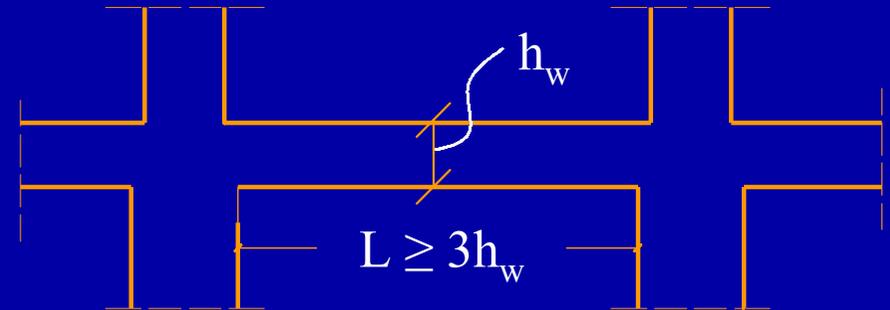


La trave è *snella o lunga* ALTRIMENTI

La trave è *tozza o corta* e il taglio deve essere assorbito da armatura ad X (vedi travi di accoppiamento o di collegamento par. 5.4.6 delle pareti da taglio)

Per una trave 30x50 ed un calcestruzzo di classe $R_{ck} = 30$ Mpa :

$$\tau_{Rd} = 0.34 \text{ Mpa} \quad V_{Sd} = 186 \text{ kN}$$



Travi

Armatura longitudinale (par. 5.5.2.2)

In ogni sezione della trave, il rapporto d'armatura al bordo superiore e quello al bordo inferiore deve essere compreso tra i seguenti limiti:

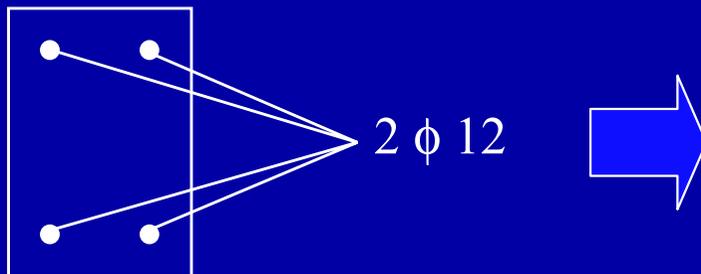
$$\frac{1.4}{f_{yk}} \leq \rho \leq \frac{7}{f_{yk}}$$

Dove: $\rho = A_s / b_w h_w$ rapporto geometrico di armatura

Es. Per un acciaio FeB44k: $0.32\% \leq \rho \leq 1.59\%$ \longrightarrow

Una trave 30x50 deve avere un'armatura minima di 4.77 cm^2 ($2\phi 16 + 1\phi 12$)

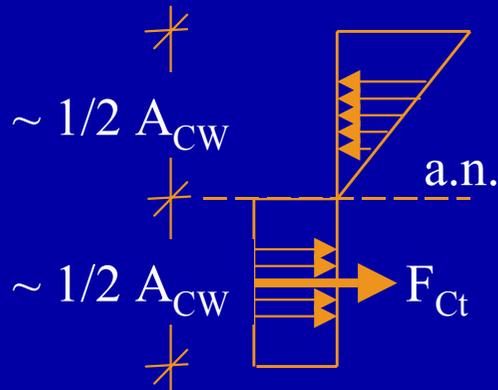
Armatura minima superiore ed inferiore consentita: $2 \phi 12$ ($2\phi 14$ in EC8)



Se $b_w = b_{wmin} = 20 \text{ cm}$
 $h_w \approx 36 \text{ cm}$

Travi

$$\text{Giustificazione di } \rho_{\min} = \frac{1.4}{f_{yk}}$$



Si considera una sezione nel I stadio:

$$F_{ct} \cong f_{ctm} \cdot \frac{1}{2} A_{cw} = A_S f_{yk}$$

$$\rho = \frac{A_S}{A_{cw}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = \frac{1.4}{f_{yk}} \quad f_{ctm} = 2.8 \text{ Mpa}$$

$$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$$

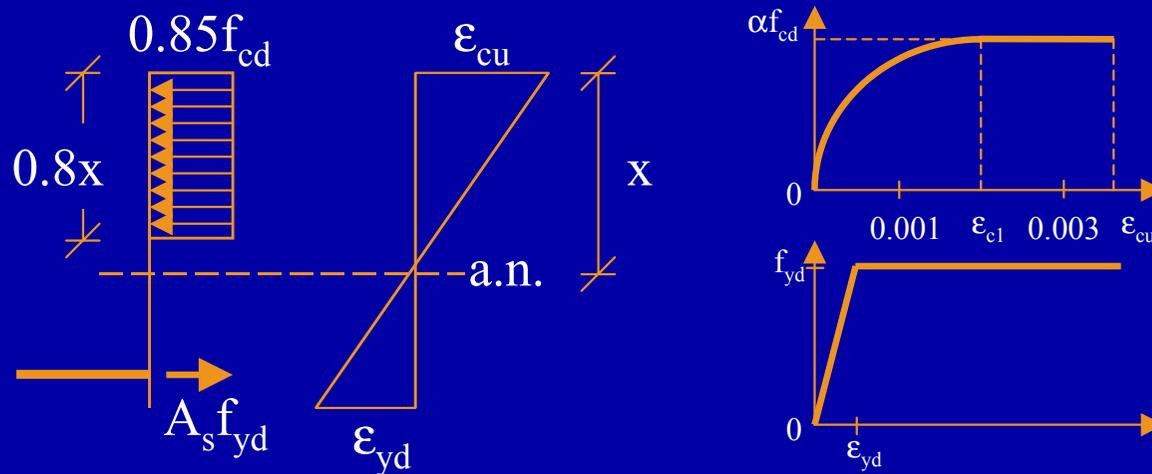
$$f_{ck} = \left(\frac{2.8}{0.3} \right)^{3/2} = 28.5 \text{ Mpa}$$

$$R_{ck} = \frac{28.5}{0.83} = 34.4 \text{ Mpa}$$

Travi

Giustificazione di $\rho_{\max} = \frac{7}{f_{yk}}$

Si considera una sezione nel III stadio:



$$0.85 f_{cd} \cdot 0.8x \cdot b = A_s f_{yd}$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{1}{E_s} = \frac{440}{1.15} \cdot \frac{1}{206000} = 1.82 \text{ ‰}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = \frac{3.5}{3.5 + 1.82} = 0.658$$

$$0.85 \cdot 0.8 \cdot 0.658 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{A_s}{bd} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \Rightarrow 0.45 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \rho \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

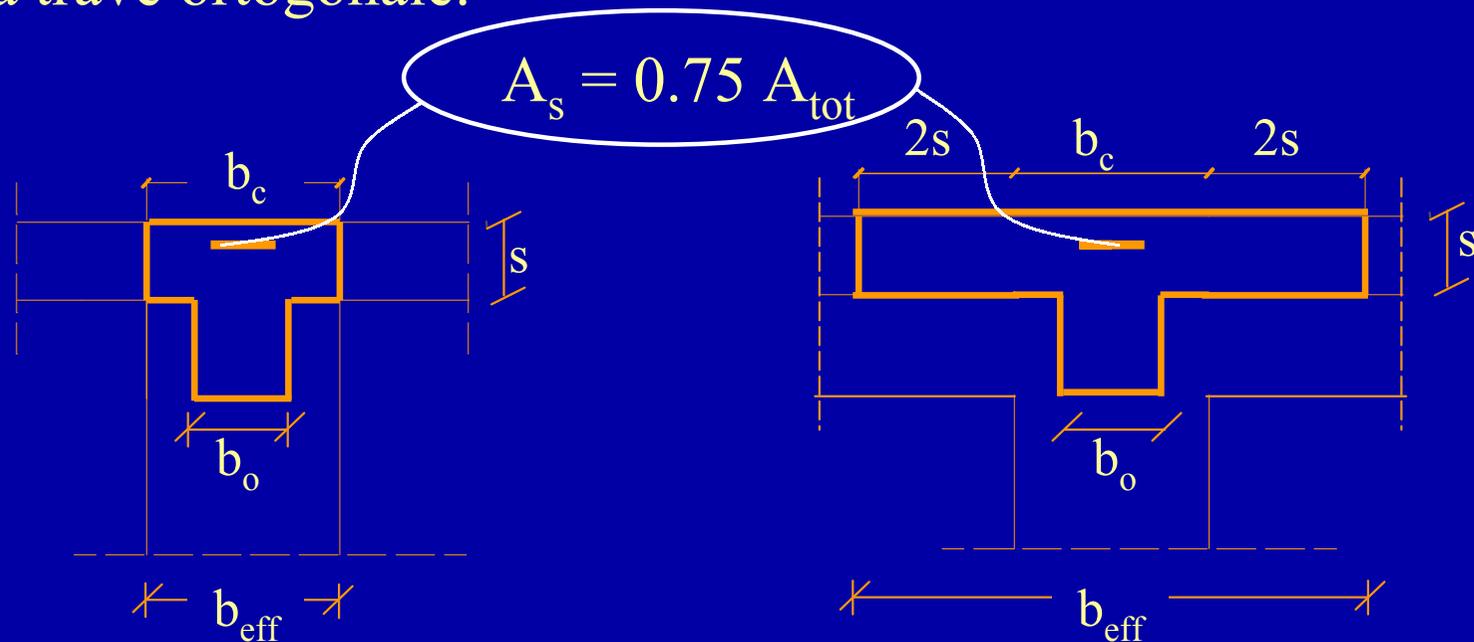
$$\rho_{\max} = 0.45 \frac{f_{ck}}{1.6} \cdot 1.15 \cdot \frac{1}{f_{yk}} = \frac{0.32 f_{ck}}{f_{yk}} = \frac{7}{f_{yk}}$$

$$f_{ck} = 21.88 \text{ Mpa} \Rightarrow R_{ck} = 26.74 \text{ Mpa}$$

Travi

Armatura longitudinale superiore (par.5.5.2.2)

L'armatura superiore per il momento negativo alle estremità delle travi deve essere contenuta per almeno il 75% entro la larghezza dell'anima e comunque entro una fascia di soletta pari rispettivamente alla larghezza del pilastro, od alla larghezza del pilastro aumentata di 2 volte lo spessore della soletta da ciascun lato del pilastro, a seconda che nel nodo manchi o sia presente una trave ortogonale.

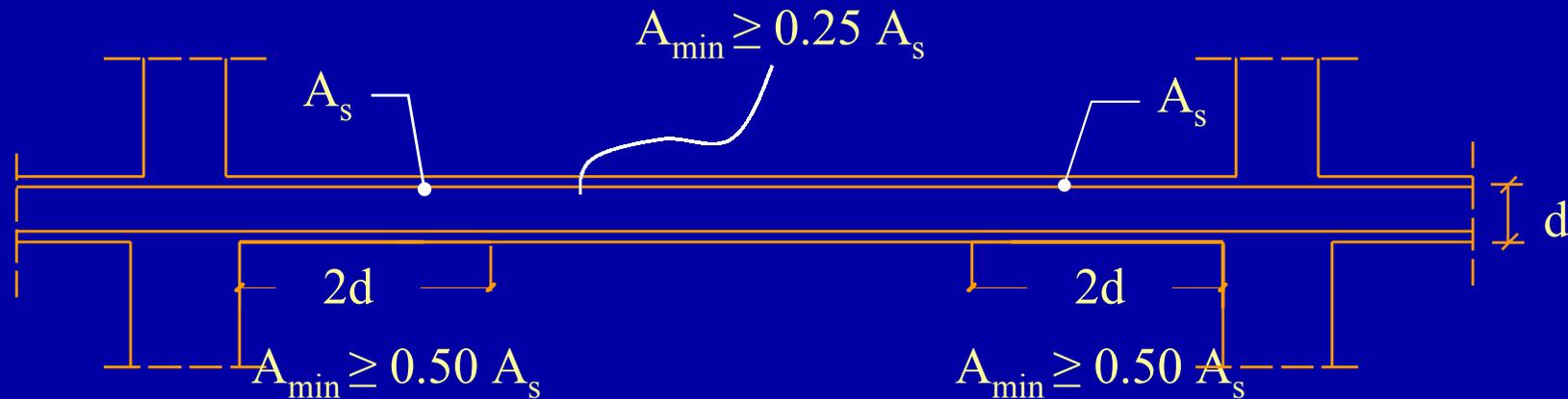


In assenza di trave
trasversale

In presenza di trave
trasversale

Travi

Armatura longitudinale superiore (par.5.5.2.2)



SI RICHIEDE :

- In corrispondenza del pilastro una percentuale di armatura compressa non minore della metà dell'armatura tesa nella stessa sezione
- In corrispondenza del bordo superiore della trave una quantità di armatura pari almeno ad un quarto dell'armatura superiore

Travi

Considerazioni sul diagramma del momento flettente

Le combinazioni di carico da usare in presenza di sisma e per soli carichi verticali sono:

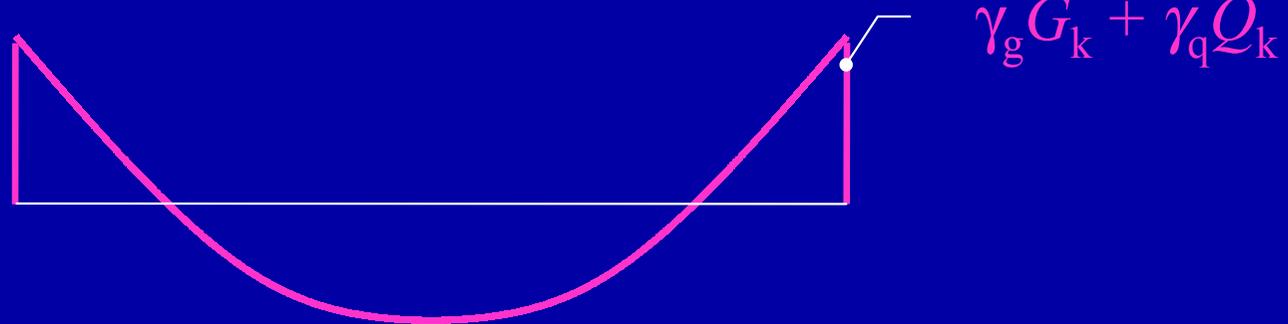
$$\gamma_1 E + G_k + \psi_2 Q_k$$

Sisma

$$\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k$$

Carichi verticali

Diagramma
momento



Travi

Considerazioni sul diagramma del momento flettente

Le combinazioni di carico da usare in presenza di sisma e per soli carichi verticali sono:

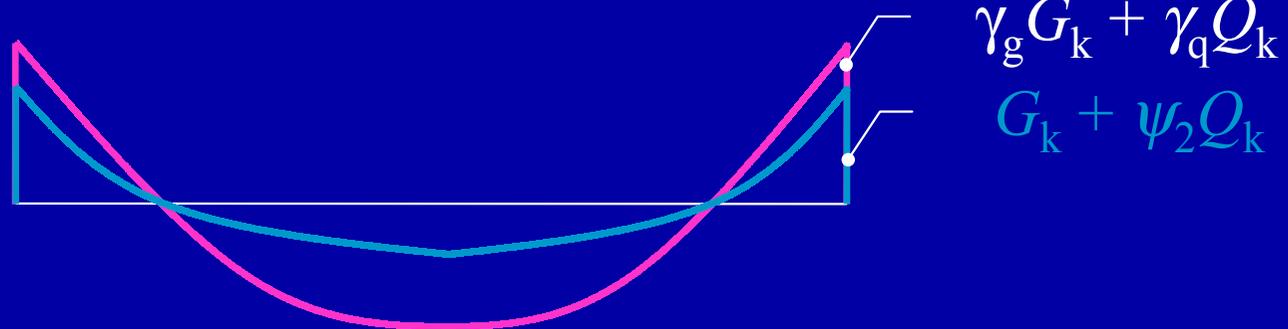
$$\gamma_I E + G_k + \psi_2 Q_k$$

Sisma

$$\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k$$

Carichi verticali

Diagramma
momento



Travi

Considerazioni sul diagramma del momento flettente

Le combinazioni di carico da usare in presenza di sisma e per soli carichi verticali sono:

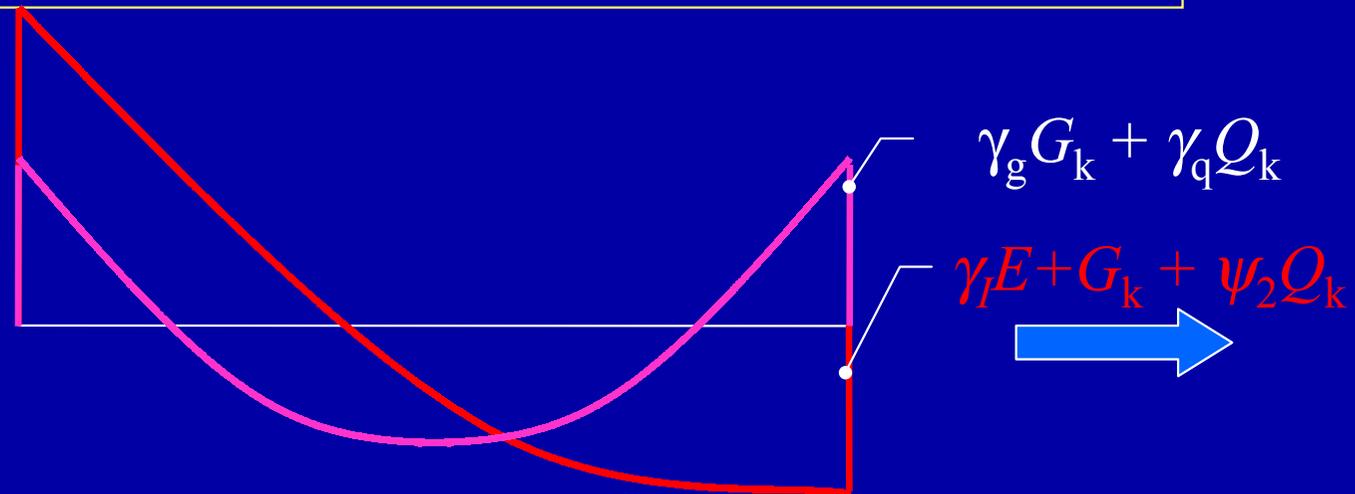
$$\gamma_I E + G_k + \psi_2 Q_k$$

Sisma

$$\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k$$

Carichi verticali

Diagramma
momento



Travi

Considerazioni sul diagramma del momento flettente

Le combinazioni di carico da usare in presenza di sisma e per soli carichi verticali sono:

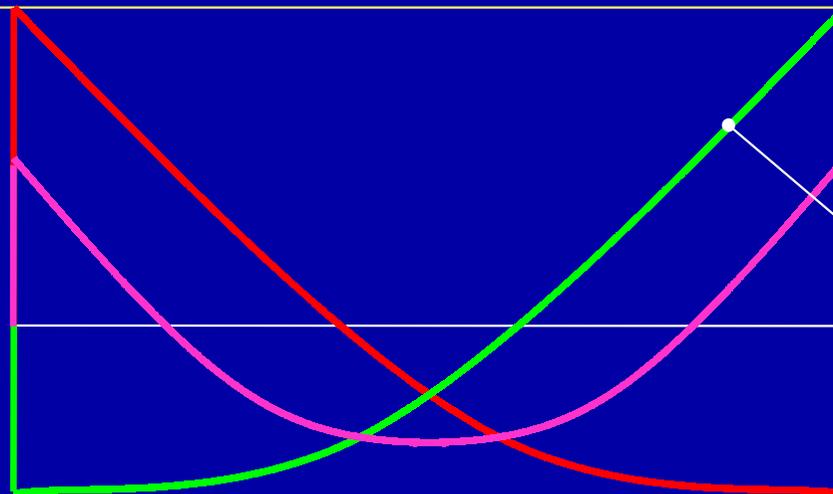
$$\gamma_I E + G_k + \psi_2 Q_k$$

$$\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k$$

Sisma

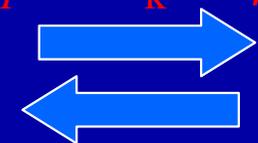
Carichi verticali

Diagramma
momento



$$\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k$$

$$\gamma_I E + G_k + \psi_2 Q_k$$



Travi

Considerazioni sul diagramma del momento flettente

L'EC2 nel par. 4.3.2.1 indica che l'armatura longitudinale deve essere dimensionata per resistere al M_{Sd} amplificato di una quantità:

$$M_{Sd}(V) = M_{Sd} + V_{Sd} \cdot a_1$$

Dove:

- $a_1 = 0.9d(1 - \cotg\alpha)/2 \geq 0$ se l'armatura a taglio è calcolata secondo il metodo normale, essendo α l'angolo formato dall'armatura a taglio con l'asse longitudinale (*se $\alpha = 90^\circ$ $a_1 = 0.45 d$*).
- $a_1 = 0.9d(\cotg\theta - \cotg\alpha)/2 \geq 0$ se l'armatura a taglio è calcolata secondo il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio, essendo θ l'angolo delle bielle di calcestruzzo con l'asse longitudinale (*se $\theta = 45^\circ$ $\alpha = 90^\circ$ $a_1 = 0.45 d$*).

Travi

Armatura longitudinale: osservazione

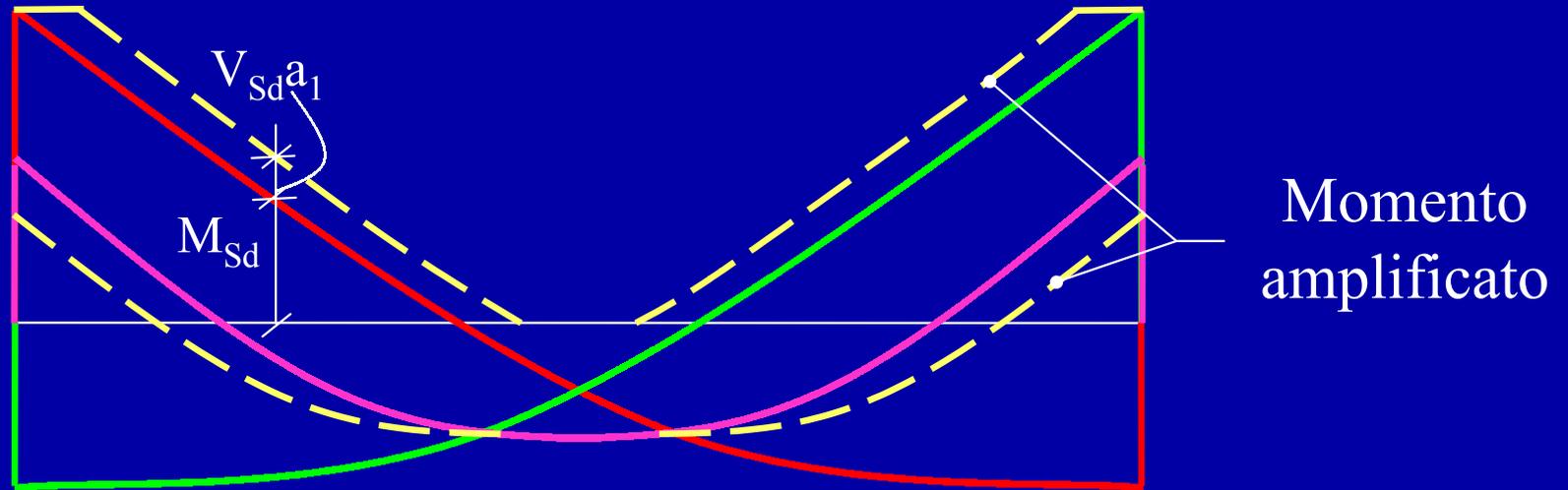


Fig. tratto da Dowrick "Progettazione antisismica"

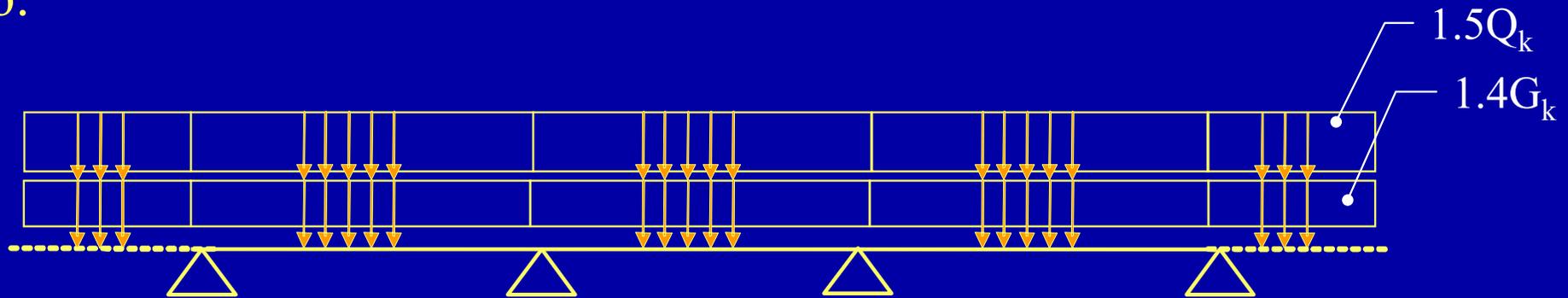
Travi

Momento flettente in campata per soli c.v.

OSSERVAZIONE:

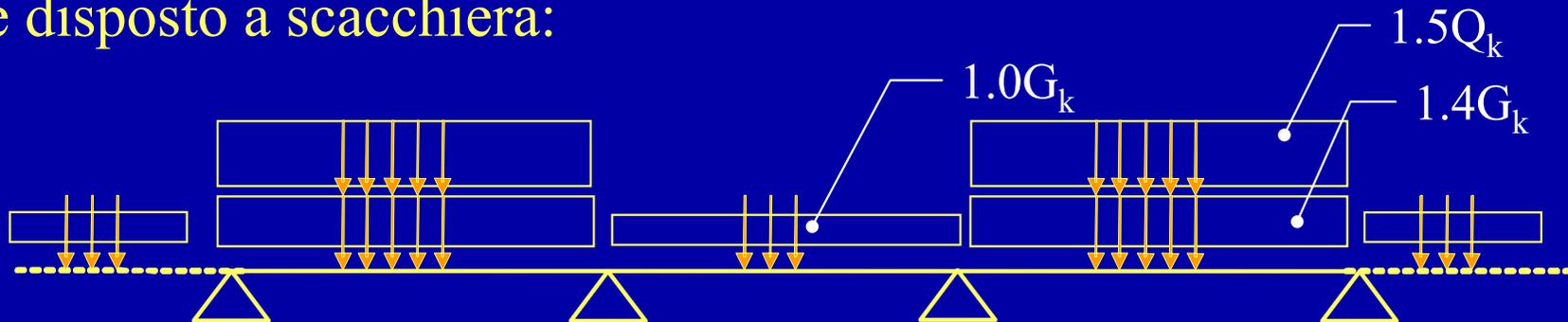
E' consuetudine calcolare il momento in campata per la combinazione di carico:

1



In realtà per massimizzare il momento in campata il carico dovrebbe essere disposto a scacchiera:

2



Travi

Momento flettente in campata per soli c.v.

Per la combinazione di carico 2 il momento sull'appoggio minM ed il momento in campata maxM valgono rispettivamente:

$$\min M = -\frac{1}{24}(1.4G_k + 1.0G_k)L^2 - \frac{1}{24}1.5Q_kL^2$$

$$\max M = \frac{1}{8}(1.4G_k + 1.5Q_k)L^2 - \frac{1}{24}(2.4G_k + 1.5Q_k)L^2 = \frac{1}{24}(1.8G_k + 3Q_k)L^2$$

Per la combinazione di carico 1 il momento in campata:

$$\max M = \frac{1}{\mu}(1.4G_k + 1.5Q_k)L^2$$

Travi

Momento flettente in campata per soli c.v.

Eguagliando i momenti calcolati secondo le due diverse condizioni di carico si valuta il coefficiente μ del momento in campata:

$$\max M = \frac{1}{24} (1.8G_k + 3Q_k) L^2 = \frac{1}{\mu} (1.4G_k + 1.5Q_k) L^2$$

$$\mu = 24 \frac{1.4G_k + 1.5Q_k}{1.8G_k + 3Q_k} = 24 \frac{1.4G_k / Q_k + 1.5}{1.8G_k / Q_k + 3}$$

Per una trave 30x50, portante un solaio di luce $L=4,00$ m, caricata con : $G_k=5$ kN/m², $Q_k=2.0$ kN/m²

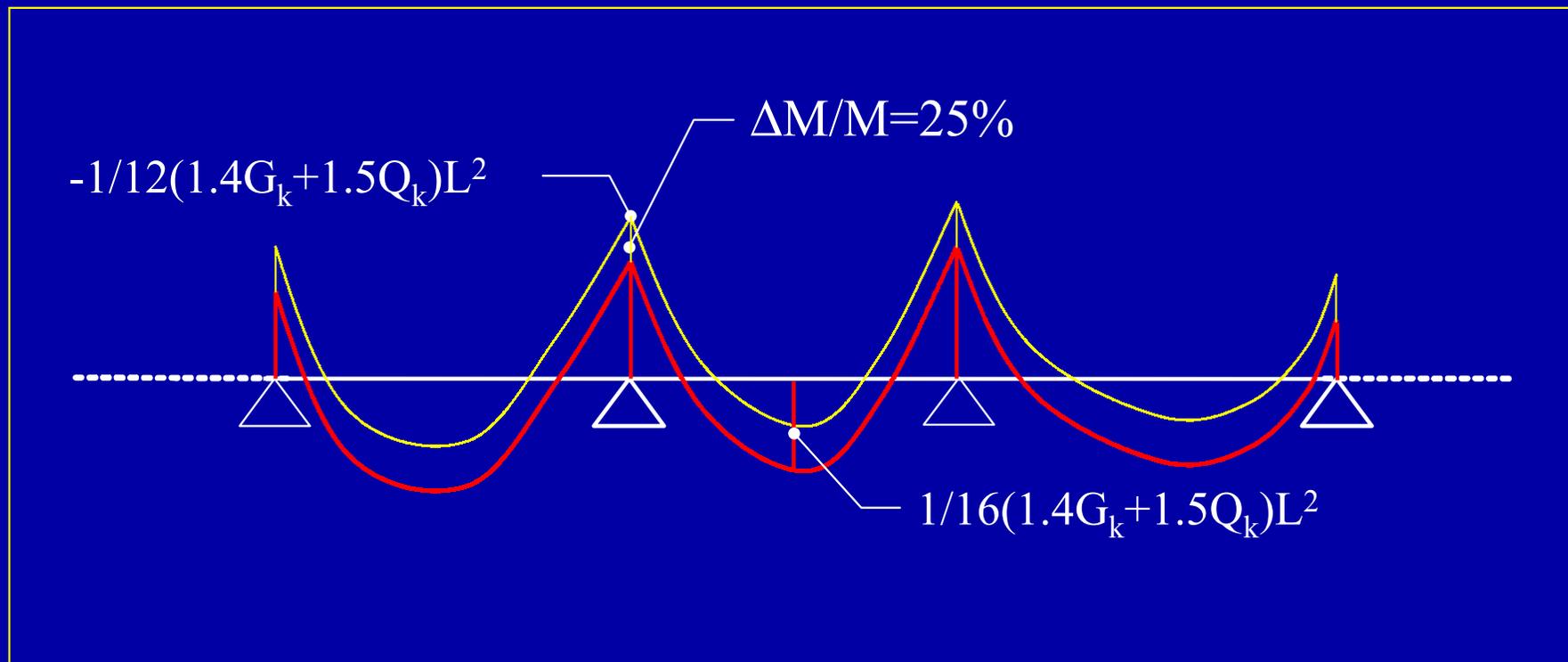


$$\mu \approx 16$$

Travi

Momento flettente in campata per soli c.v.

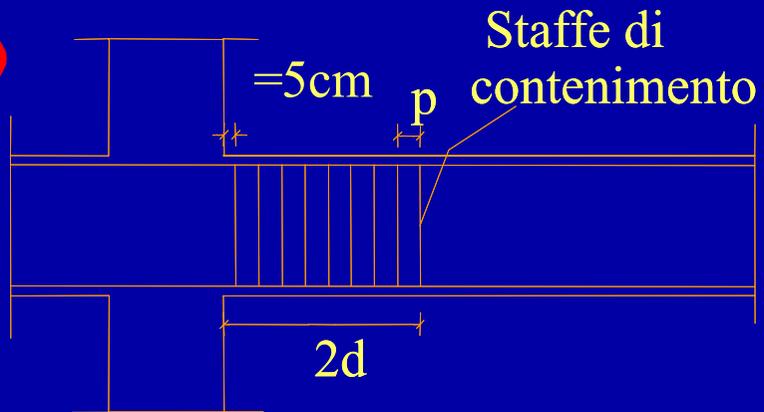
Con una redistribuzione del momento nello schema 1:



Travi

Armatura trasversale (par.5.5.2.3)

DC "A"

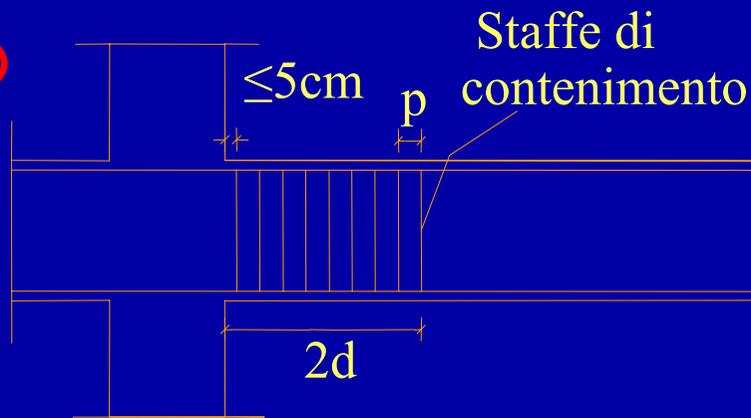


$$p \leq \min\left(\frac{d}{4}, 15\text{cm}, 6\phi_L\right)$$

Travi

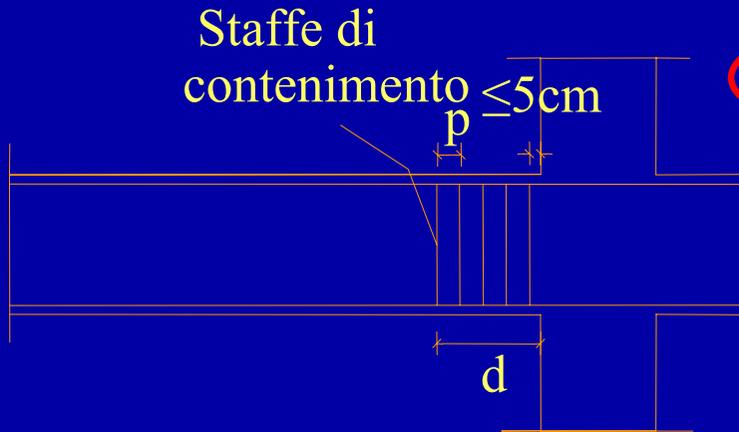
Armatura trasversale (par.5.5.2.3)

DC "A"



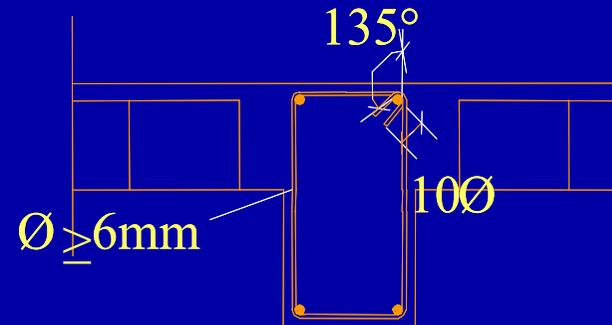
$$p \leq \min\left(\frac{d}{4}, 15cm, 6\phi_L\right)$$

DC "B"



$$p \leq \min\left(\frac{d}{4}, 15cm, 6\phi_L\right)$$

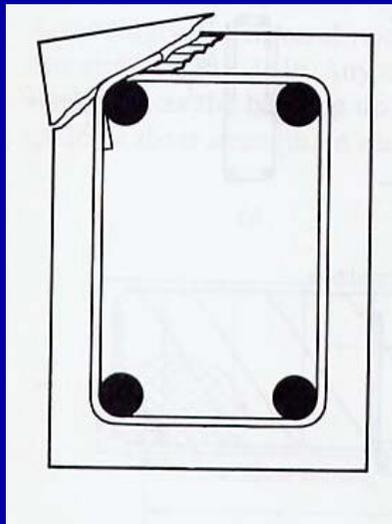
Per entrambe le classi
l'armatura trasversale deve
possedere questi requisiti:



Travi

Armatura trasversale: Osservazione

La resistenza a taglio della trave viene valutata con modelli a traliccio, in cui le staffe sono le armature necessarie a conferire alla trave tale resistenza. La staffa deve essere in grado di sviluppare la resistenza richiesta per tutta l'altezza compresa tra l'armatura longitudinale superiore ed inferiore. A tale scopo le barre longitudinali devono passare attraverso il gancio della staffa in modo da potere ripartire il carico concentrato trasmesso dalla staffa. Inoltre è essenziale che la piega sia a 135° .



Per un ancoraggio insufficiente (piega a 90°) il ricoprimento della trave può essere espulso (spalling).

Pilastrì

Limiti geometrici (par.5.5.3.1)

La dimensione minima della sezione trasversale non deve essere inferiore a 30 cm. Il rapporto tra i lati minimo e massimo della sezione trasversale non deve essere inferiore a 0,3. In caso contrario l'elemento sar\`a assimilato alle pareti portanti trattate in 5.5.5.



$$b_{\min} \geq 30\text{cm}$$

$$\frac{b_{\min}}{b_{\max}} \geq 0.3 \quad \underline{\text{ALTRIMENTI}} \quad \text{parete}$$



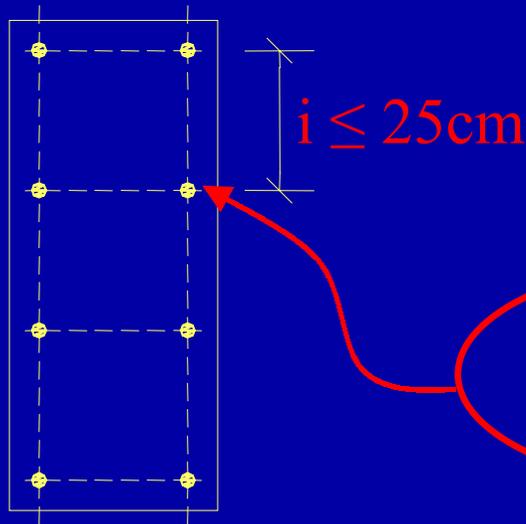
30 x 100 pilastro

30 x 110 parete

Pilastrì

Armatura longitudinale (par.5.5.3.2)

La percentuale di armatura longitudinale deve essere compresa tra:



$$1\% \leq \frac{A_S}{A_C} \leq 4\%$$

A_S area totale dell'armatura longitudinale

A_C area della sezione lorda del pilastro

Conferimento di una minima resistenza a trazione

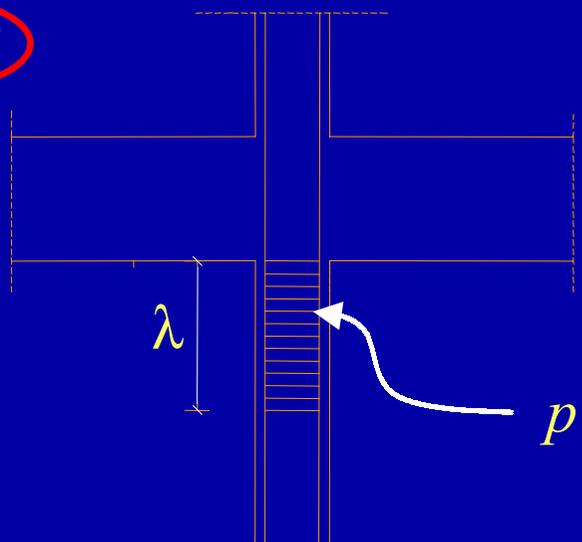
Conferimento di un'adeguata capacità di rotazione plastica delle regioni critiche

Con queste prescrizioni: pilastro 30 x 60 ha almeno 6 ϕ 20

Pilastrì

Armatura trasversale (par.5.5.3.3)

DC "A"



$$\lambda = \max\left(b_{\max}, \frac{H}{6}, 45\text{cm}\right)$$

$$p = \left(\frac{b_{\min}}{4}, 15\text{cm}, 6\phi_L\right)$$

Conferire
un'adeguata duttilità

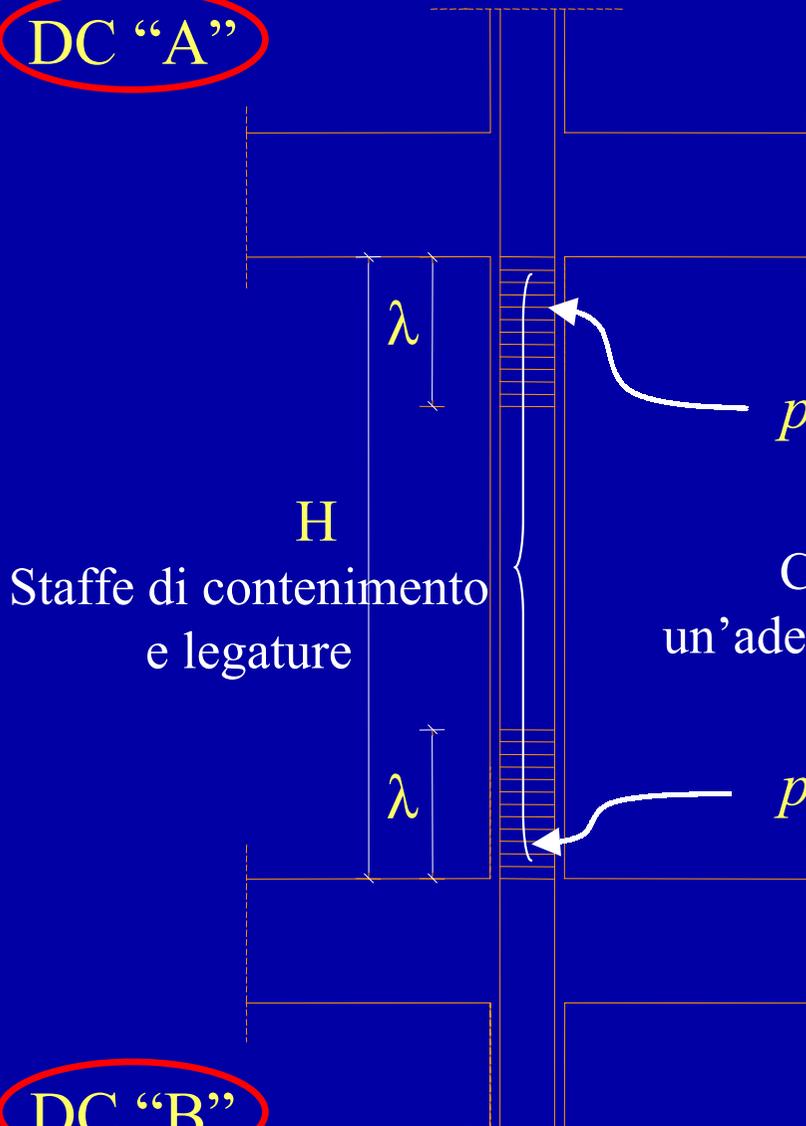
Prevenire lo svergolamento
locale delle barre longitudinali

Pilastrì

Armatura trasversale (par.5.5.3.3)

DC "A"

$$\lambda = \max\left(b_{\max}, \frac{H}{6}, 45\text{cm}\right)$$



$$p = \left(\frac{b_{\min}}{4}, 15\text{cm}, 6\phi_L\right)$$

Conferire un'adeguata duttilità

Prevenire lo svergolamento locale delle barre longitudinali

$$p = \min\left(\frac{b_{\min}}{4}, 15\text{cm}\right)$$

Estremo superfluo $\Rightarrow b_{\min} = 60\text{cm}$ e $\phi_L = 25\text{mm}$

DC "B"

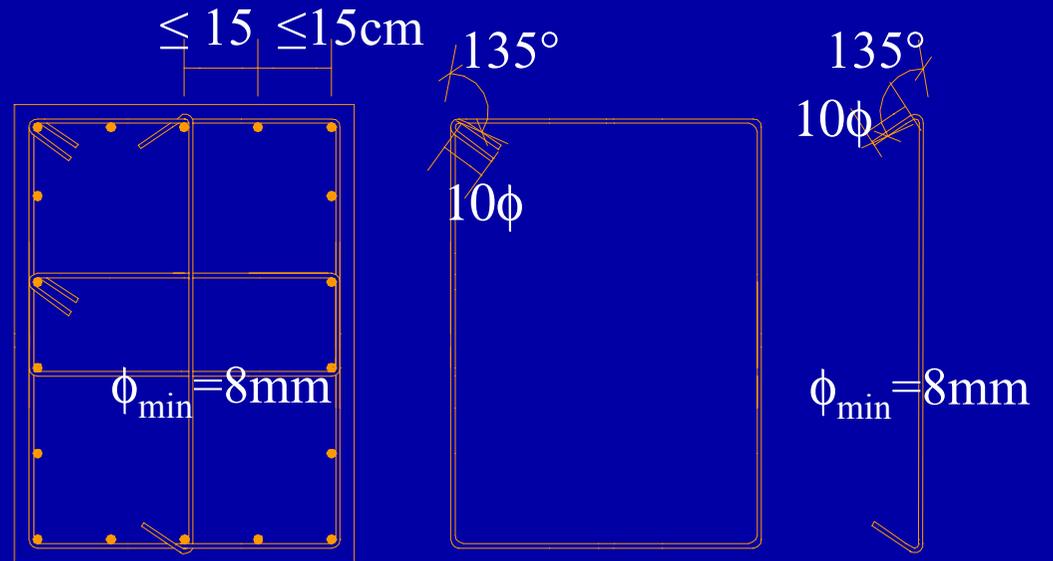
Pilastrì

Armatura trasversale (par.5.5.3.3)

In ciascuna delle due zone di estremità del pilastro devono essere rispettate le condizioni seguenti:

Almeno una barra ogni due deve essere trattenuta da staffe o legature.

Le barre non fissate devono trovarsi a meno di 15 cm



Staffa di
contenimento

legatura

Pilastr

Armatura trasversale (par.5.5.3.3)

Dettagli costruttivi

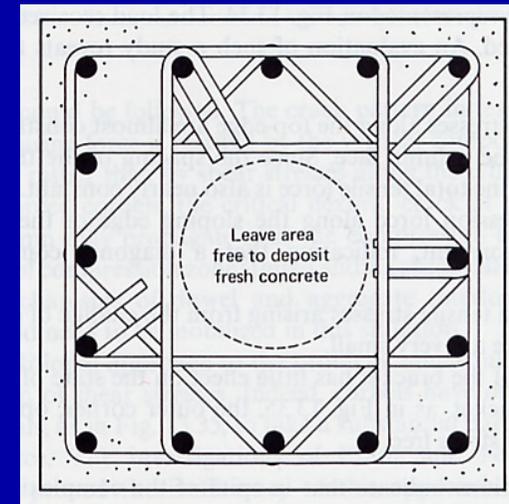
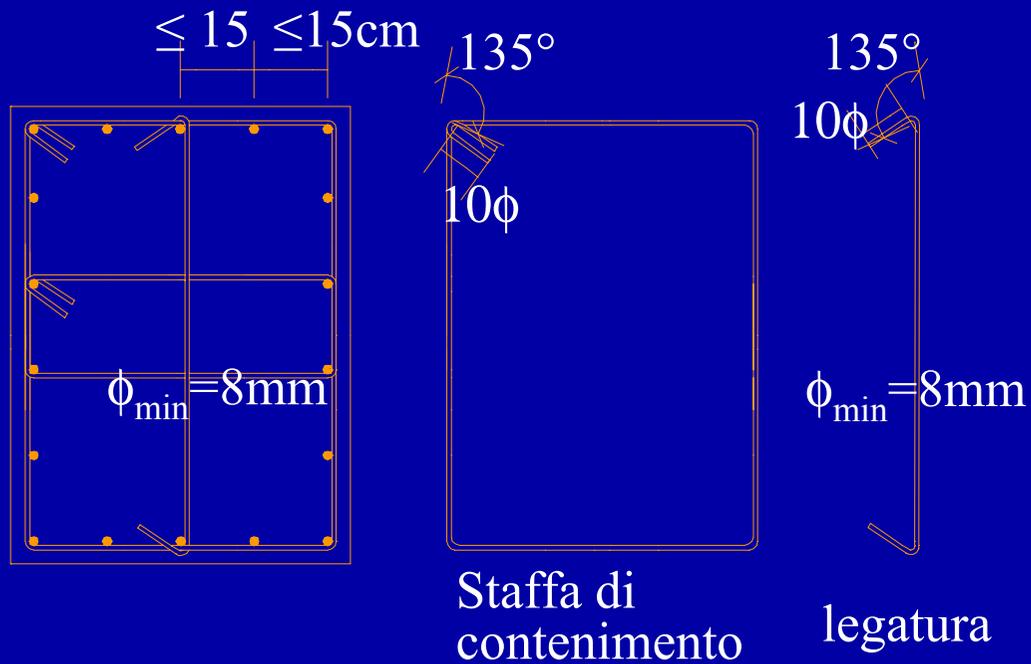


Fig. tratta da Park and Paulay "Reinforced concrete structure"

Pilastrì

Osservazione sull'interruzione delle barre longitudinali

Le barre devono essere interrotte in una zona della colonna poco sollecitata. In una struttura sismo-resistente la colonna è sollecitata da un elevato momento flettente e taglio e questo potrebbe dare luogo alla formazione di cerniere plastiche alle estremità della colonna.

Per questo motivo è bene interrompere le barre nella mezzera della trave in modo da non indebolire ulteriormente le zone di attacco con la trave.

