

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale sulla base
delle normative più recenti

Progetto e verifica di elementi strutturali in c.a.

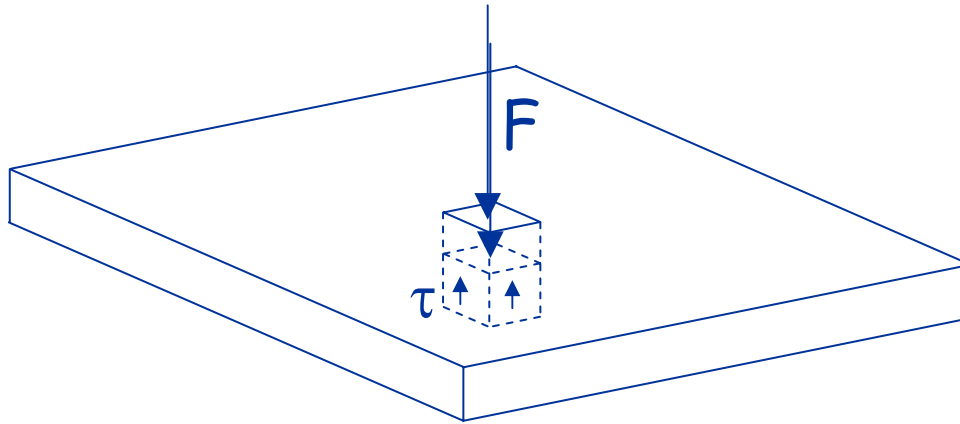
6 - punzonamento

Villa Redenta, Spoleto

26-28 febbraio 2009

Aurelio Ghersi

Il fenomeno

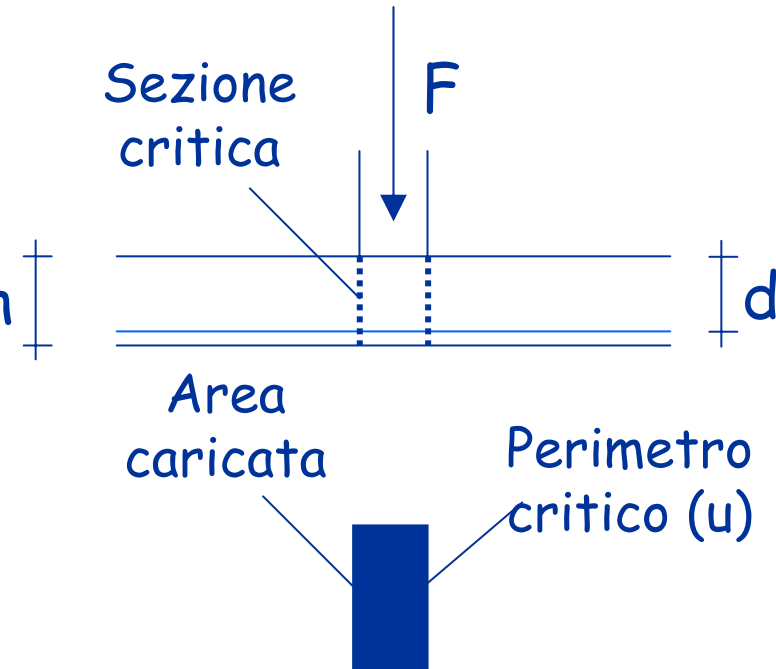


Le τ equilibrano la forza concentrata F

La forza massima che le τ possono contrastare è la resistenza a punzonamento dell'elemento in calcestruzzo

Se la forza F supera la resistenza a punzonamento si dispone un'armatura a punzonamento (barre piegate a 45°)

Verifica - tensioni ammissibili



Sezione tutta reagente

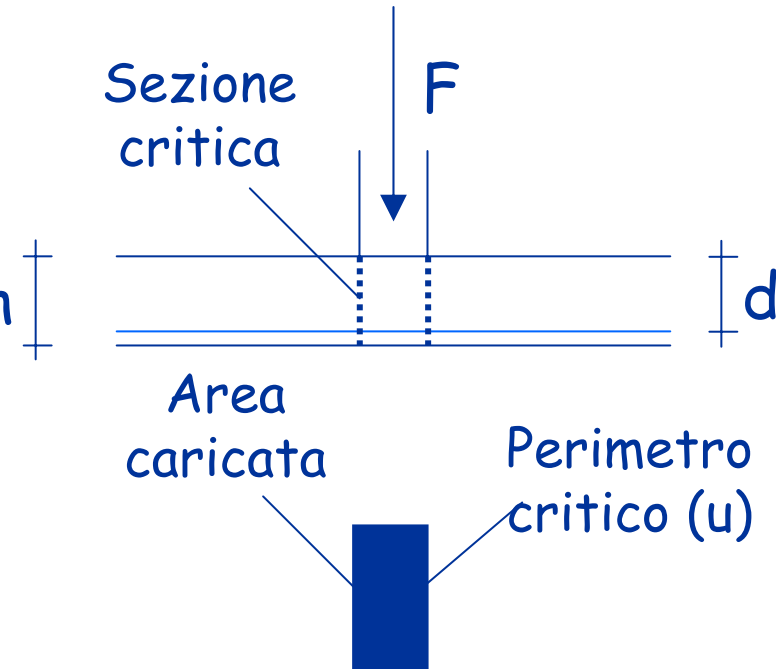
$$\tau_{\max} = \frac{1.5 F}{d u}$$

Sezione parzializzata

$$\tau_{\max} = \frac{F}{0.9 d u}$$

Non è necessaria armatura a punzonamento se $\tau_{\max} < \tau_{c0}$

Verifica - tensioni ammissibili



Sezione tutta reagente

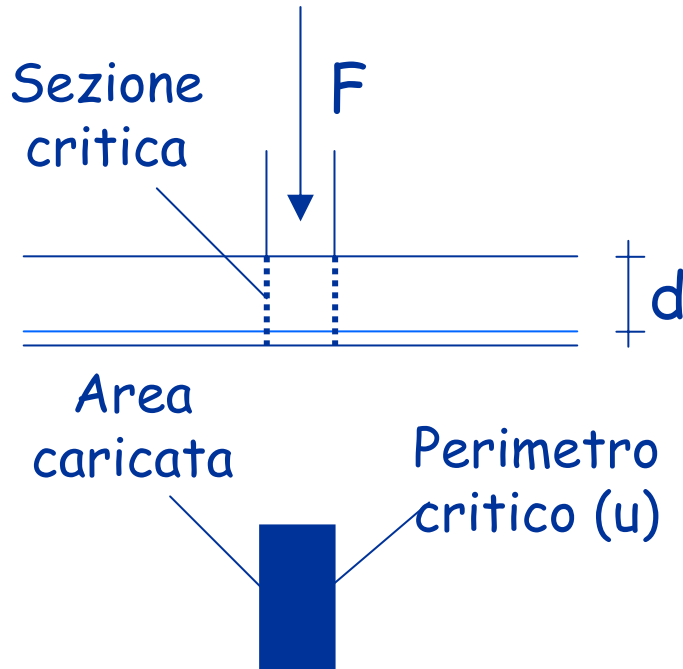
$$\tau_{\max} = \frac{1.5 F}{d u}$$

Sezione parzializzata

$$\tau_{\max} = \frac{F}{0.9 d u}$$

È necessario aumentare lo spessore della soletta
se $\tau_{\max} > \tau_{c1}$

Verifica - tensioni ammissibili



Sezione tutta reagente

$$\tau_{\max} = \frac{1.5 F}{d u}$$

Sezione parzializzata

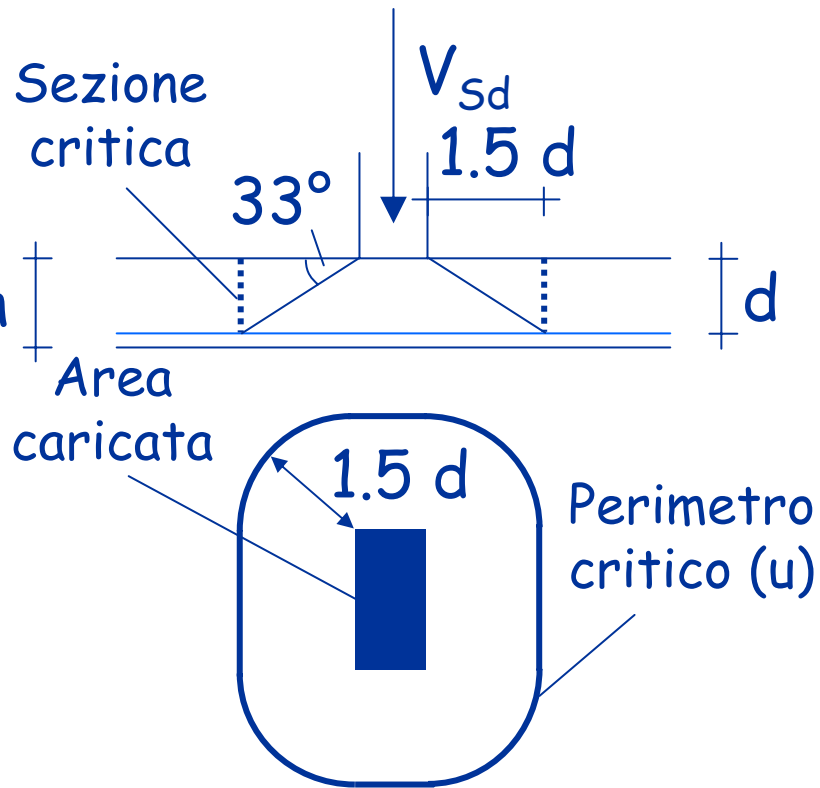
$$\tau_{\max} = \frac{F}{0.9 d u}$$

È necessario disporre un'armatura a punzonamento se

$$\tau_{c0} < \tau_{\max} < \tau_{c1}$$

$$A_{s,\text{pun}} = \frac{\sqrt{2 F}}{\bar{\sigma}_s}$$

Verifica - stato limite ultimo



Azione per unità di lunghezza

$$v_{Sd} = \frac{V_{Sd}}{u}$$

Per carichi eccentrici

$$v_{Sd} = \frac{\beta V_{Sd}}{u}$$

$\beta = 1.5$ e $\beta = 1.4$ per pilastri posti allo spigolo o al bordo della piastra

Bisogna verificare che $v_{Sd} < v_{Rd}$

Nota: ora 2.0 d anziché 1.5 d

Verifica - stato limite ultimo

V_{rd1} Resistenza in assenza di armatura a punzonamento

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) d$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \rho_{ly}}$$

V_{rd2} Resistenza della sezione in calcestruzzo in presenza di armatura a punzonamento

$$V_{Rd2} = 1.6 V_{Rd1}$$

V_{rd3} Resistenza dell'armatura a punzonamento

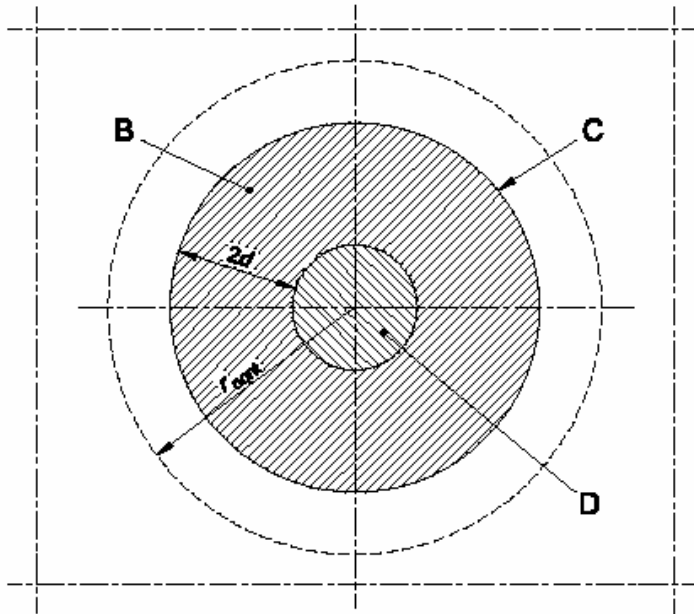
$$V_{Rd3} = V_{Rd1} + \frac{A_{s,pun} f_{yd}}{\sqrt{2} u}$$

Da aggiornare con NTC08

PUNZONAMENTO

Generalità (6.4.1)

Si raccomanda che la resistenza a taglio sia verificata lungo la faccia del pilastro e il perimetro di verifica u_1 . Se è richiesta un'armatura a taglio, si raccomanda che un ulteriore perimetro di verifica $u_{out,ef}$ sia trovato laddove l'armatura a taglio non è più richiesta.

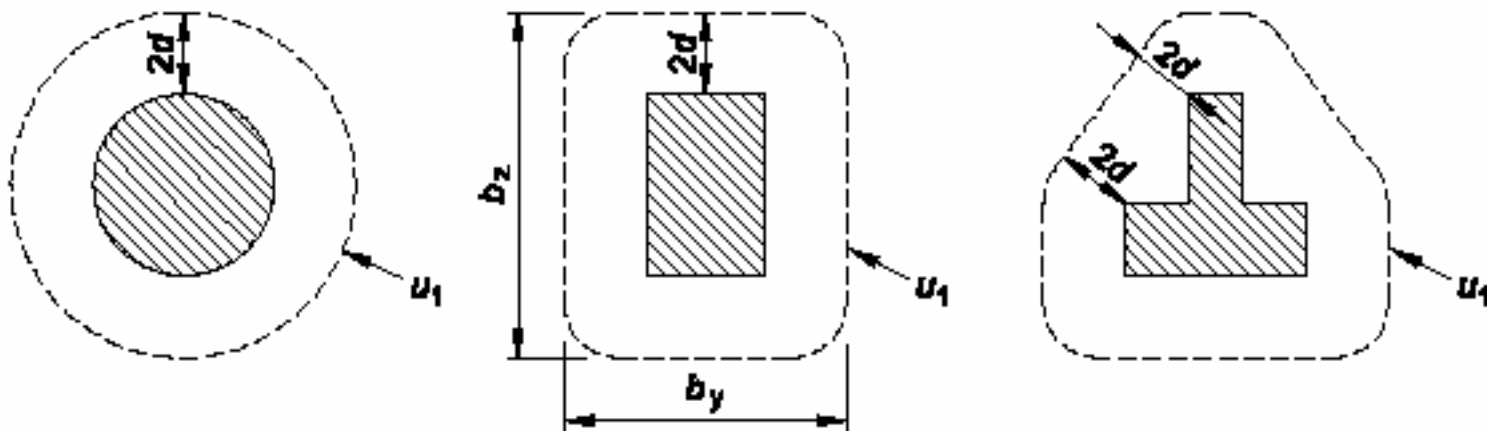


- A Sezione di base per la verifica
- B Area di verifica di base A_{cont}
- C Perimetro di verifica di base, u_1
- D Area caricata A_{load}
- r_{cont} Ulteriore perimetro di verifica
 $\theta = \arctan (1/2)$
 $= 26,6^\circ$

PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

Il perimetro di verifica di base u_1 può generalmente essere collocato a una distanza $2,0d$ dall'area caricata e si raccomanda che sia definito come quello di minima lunghezza.



PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

L'altezza utile della soletta è supposta costante e può generalmente essere assunta pari a:

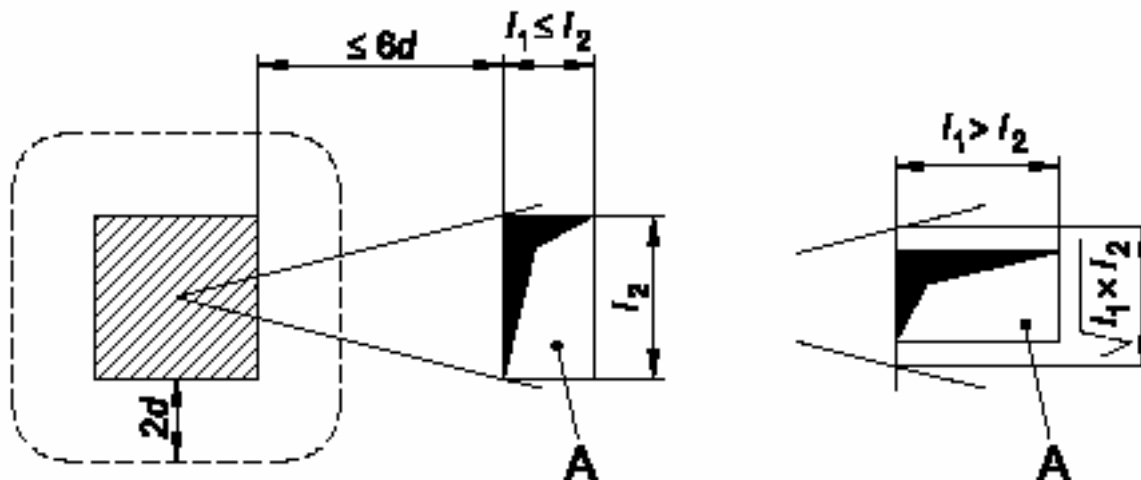
$$d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2}$$

dove d_y e d_z sono le altezze utili relative alle armature poste nelle due direzioni ortogonali.

PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

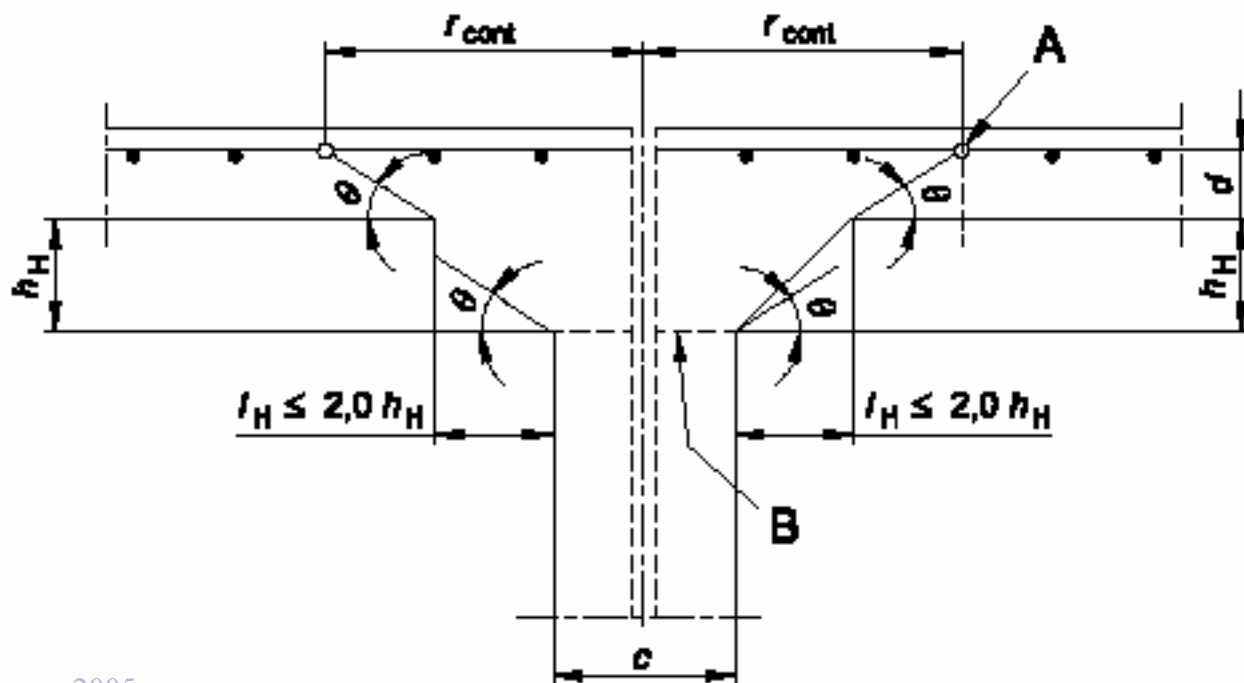
Per aree caricate in prossimità di aperture, se la minor distanza fra il perimetro dell'area caricata e il bordo dell'apertura non supera $6d$, si ritiene inefficace la parte del perimetro di verifica contenuta entro le due tangenti tracciate dal centro dell'area caricata fino al contorno del foro



PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

Per piastre con pilastri muniti di capitello circolare per le quali $l_H < 2,0 h_H$, una verifica delle tensioni di taglio-punzonamento è richiesta solo sulla sezione di verifica al di là del capitello.



PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

La distanza di questa sezione dal centro del pilastro r_{cont} può essere assunta come:

$$r_{\text{cont}} = 2d + l_H + 0,5c$$

dove:

l_H è la distanza della faccia del pilastro dal bordo del capitello;

c è il diametro del pilastro circolare.

PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

Nel caso di un pilastro rettangolare con un capitello rettangolare con $l_H < 2,0d$ e le dimensioni complessive l_1 e l_2 ($l_1 = c_1 + 2l_{H1}$, $l_2 = c_2 + 2l_{H2}$, $l_1 \leq l_2$), per il valore r_{cont} può essere assunto il minore fra:

$$r_{\text{cont}} = 2d + 0,56 (l_1 l_2)^{0.5}$$

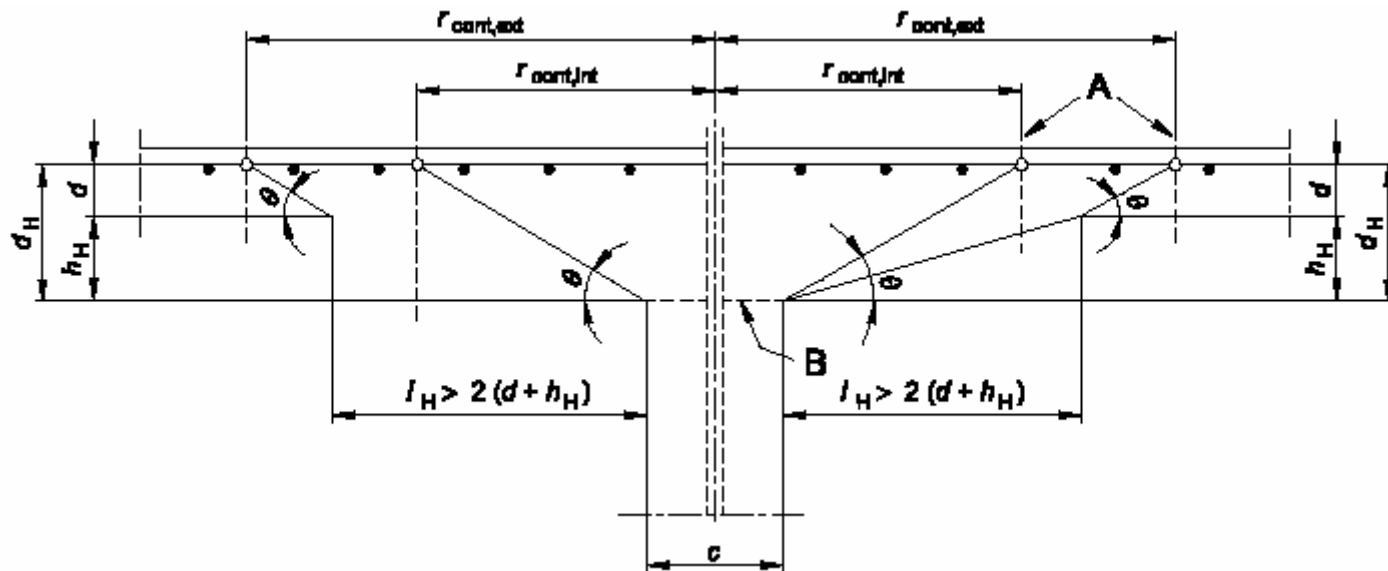
e

$$r_{\text{cont}} = 2d + 0,69 l_1$$

PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

Nel caso di piastre con capitello allargato dove $l_H > 2h_H$ si raccomanda che siano verificate entrambe le sezioni, quella nel capitello e quella nella piastra.



PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

Nel caso di pilastri circolari le distanze dal centro del pilastro alle sezioni di verifica possono essere assunte uguali a:

$$r_{\text{cont,ext}} = l_H + 2d + 0,5c$$

$$r_{\text{cont,int}} = 2(d + h_H) + 0,5c$$

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Il procedimento di calcolo per il taglio-punzonamento si fonda sulle verifiche alla faccia del pilastro e al perimetro di verifica di base u_1 .

Attenzione: Se è richiesta l'armatura a taglio, si raccomanda che un ulteriore perimetro di verifica $u_{out,ef}$ sia trovato laddove l'armatura a taglio non è più richiesta.

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Si definiscono le seguenti tensioni di taglio di progetto [MPa] lungo le sezioni di verifica:

- $V_{Rd,c}$ è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra, priva di armature per il taglio-punzonamento, lungo la sezione di verifica considerata.
- $V_{Rd,cs}$ è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra dotata di armature per il taglio-punzonamento, lungo la sezione di verifica considerata.
- $V_{Rd,max}$ è il valore di progetto del massimo taglio-punzonamento resistente lungo la sezione di verifica considerata.

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Si raccomanda di effettuare le seguenti verifiche

- (a) L'armatura per il taglio-punzonamento non è necessaria se:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

- (b) Se v_{Ed} supera il valore $v_{Rd,c}$ per la sezione di verifica considerata, si raccomanda che sia disposta l'armatura per il taglio - punzonamento

- (c) lungo il perimetro del pilastro, o il perimetro dell'area caricata, si raccomanda che la massima tensione di taglio-punzonamento non sia superata:

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Se la reazione d'appoggio è eccentrica rispetto al perimetro di verifica, si raccomanda di assumere come tensione massima di taglio il valore:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

dove:

d è l'altezza utile media della piastra, che può assumersi come $(d_y + d_z)/2$

dove:

d_y , d_z sono le altezze utili nelle direzioni y e z della sezione di verifica;

u_i è la lunghezza del perimetro di verifica considerato;

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

β è dato da:

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1}$$

dove:

u_1 è la lunghezza del perimetro di verifica di base;

k è un coefficiente che dipende dal rapporto fra le dimensioni del pilastro c_1 e c_2 : il suo valore è funzione delle proporzioni del momento sbilanciato trasmesso da taglio non uniforme e da flessione e torsione

| c_1/c_2 | ≤ 0.5 | 1.0 | 2.0 | ≥ 3.0 |
|-----------|------------|------|------|------------|
| k | 0.45 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |

PUNZONAMENTO

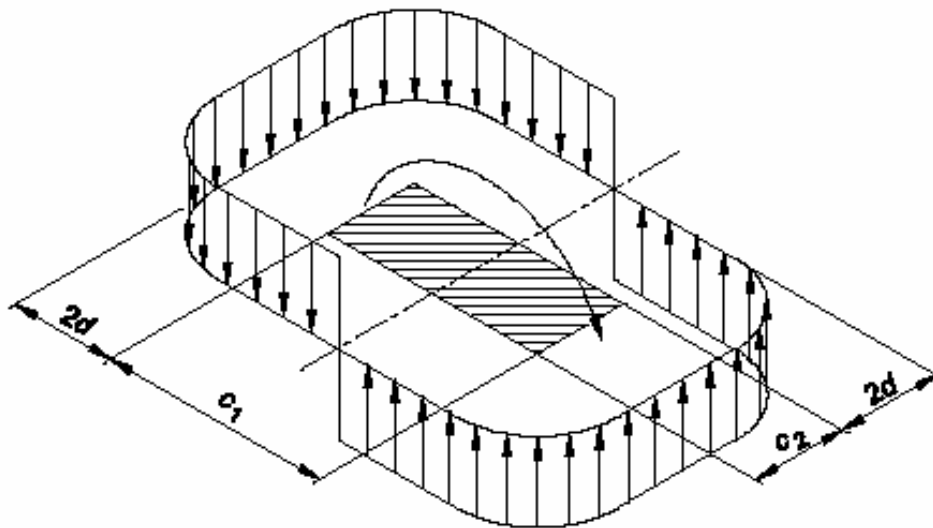
Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

W_1 corrisponde a una distribuzione di taglio ed è funzione del perimetro di verifica di base u_1 :

$$W_1 = \int_0^{u_1} |e| dl$$

dl è la lunghezza infinitesima del perimetro;

e è la distanza di dl dall'asse intorno al quale agisce M_{Ed} .



PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Per un pilastro rettangolare:

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 c_2 + 4c_2 d + 16d^2 + 2\pi d c_1$$

dove:

c_1 è la dimensione del pilastro parallela all'eccentricità del carico;
 c_2 è la dimensione del pilastro perpendicolare all'eccentricità del carico.

Per un pilastro circolare interno:

$$\beta = 1 + 0.6\pi \frac{e}{D + 4d}$$

dove

D è il diametro del pilastro circolare.

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Per un pilastro rettangolare interno,
se il carico è eccentrico in entrambe le direzioni :

$$\beta = 1 + 1.8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$$

dove:

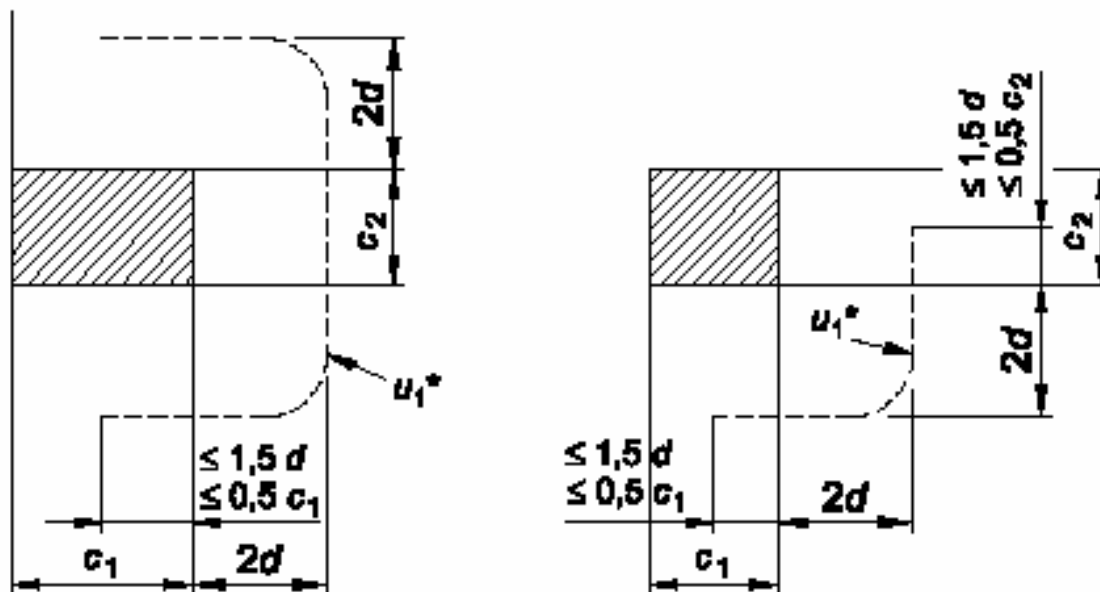
e_y , e_z sono le eccentricità M_{Ed} / V_{Ed} secondo gli assi y e z ;

b_y , b_z sono le dimensioni del perimetro di verifica.

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Nel caso dei pilastri di bordo, in cui l'eccentricità perpendicolare al bordo della piastra (risultante da un momento rispetto a un asse parallelo al bordo della piastra) è verso l'interno e non vi è eccentricità parallela al bordo, la forza di punzonamento può considerarsi uniformemente distribuita lungo il perimetro di verifica u_1^*



PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Nel caso dei pilastri di bordo, se vi sono eccentricità in entrambe le direzioni ortogonali, β può essere determinato con la seguente espressione:

$$\beta = \frac{u_1}{u_*} + k \frac{u_1}{W_1} e_{par}$$

dove:

u_1 è il perimetro di verifica di base;

u_{1*} è il perimetro di verifica di base ridotto;

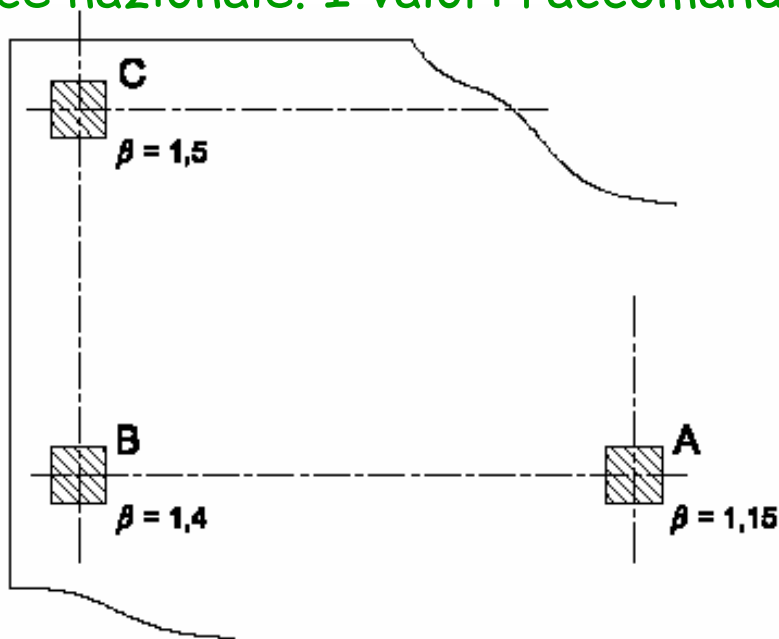
e_{par} è l'eccentricità parallela al bordo della piastra prodotta da un momento rispetto a un asse perpendicolare al bordo della piastra;

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Per strutture la cui stabilità trasversale non dipende dal funzionamento a telaio del complesso piastra-pilastri, e se le luci adiacenti non differiscono in lunghezza più del 25%, per β si possono adottare valori approssimati.

Nota: Valori di β da adottare in uno Stato possono essere reperiti nella sua appendice nazionale. I valori raccomandati sono dati nella figura.



PUNZONAMENTO

Piastre o fondazioni senza armatura a taglio-punzon. (6.4.4)

La resistenza a taglio per unità di lunghezza v_{Rd1} di piastre non precomprese è data da:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

dove:

f_{ck} è in MPa

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

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{1y} \rho_{1z}} \leq 0,02$$

; ρ_{1y} e ρ_{1z} si riferiscono all'armatura tesa disposta nelle direzioni y e z .

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz})/2$$

con σ_{cy} e σ_{cz} tensioni normali del cls nella sezione critica nelle direzioni y e z .

PUNZONAMENTO

Piastre o fondazioni senza armatura a taglio-punzon. (6.4.4)

Nel caso di carico coassiale la forza netta applicata è

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$$

dove:

V_{Ed} è la forza tagliante applicata;

ΔV_{Ed} è la forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica considerato, cioè la pressione verso l'alto trasmessa dal suolo meno il peso proprio della fondazione.

$$v_{Ed} = V_{Ed,red} / ud$$

Per carico eccentrico

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{ud} \left[1 + k \frac{M_{Ed} u}{V_{Ed,red} W} \right]$$

PUNZONAMENTO

Piastre o fondazioni con armatura a taglio-punzonamento (6.4.5)

Dove è richiesta l'armatura a taglio, si raccomanda che questa sia calcolata in conformità all'espressione:

$$V_{Rd,cs} = 0.75V_{Rd,c} + 1.5(d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} \left[1/(ud) \right] \sin \alpha$$

dove:

- A_{sw} è l'area di armatura a taglio a punzonamento situata su di un perimetro intorno al pilastro [millimetri quadrati];
- s_r è il passo radiale dei perimetri dell'armatura a taglio di punzonamento (mm);
- $f_{ywd,ef}$ è la resistenza di progetto efficace dell'armatura a taglio-punzonamento, secondo la relazione $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_{ywd}$
- d è la media delle altezze utili nelle due direzioni ortogonali (mm);
- α è l'angolo compreso fra l'armatura a taglio e il piano della piastra.

Se è disposta una sola fila di barre piegate verso il basso, allora al rapporto d/s_r può essere assegnato il valore 0,67.

PUNZONAMENTO

Piastre o fondazioni con armatura a taglio-punzonamento (6.4.5)

In adiacenza ai pilastri la resistenza a taglio-punzonamento è limitata a un valore massimo di:

$$V_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_o d} \leq V_{Rd,max}$$

dove:

u_o per un pilastro interno
per un pilastro di bordo
per un pilastro d'angolo

u_o = perimetro del pilastro [mm],
 $u_o = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$ [millimetri],
 $u_o = 3d \leq c_1 + c_2$ [millimetri];

PUNZONAMENTO

Piastre o fondazioni con armatura a taglio-punzonamento (6.4.5)

Si raccomanda che il perimetro di verifica lungo il quale l'armatura a taglio non è richiesta, u_{out} (o $u_{out,ef}$) sia calcolato con l'espressione:

$$u_{out,ef} = \beta V_{Ed} / (v_{Rd,c} d)$$

Nota: Si raccomanda che il perimetro più lontano delle armature a taglio si collochi a una distanza non maggiore di kd all'interno di u_{out} (o $u_{out,ef}$).

