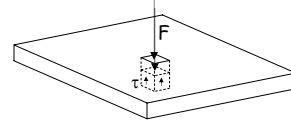


Progetto e verifica di elementi strutturali in c.a.

6 - punzonamento

Villa Redenta, Spoleto
26-28 febbraio 2009
Aurelio Ghersi

Il fenomeno

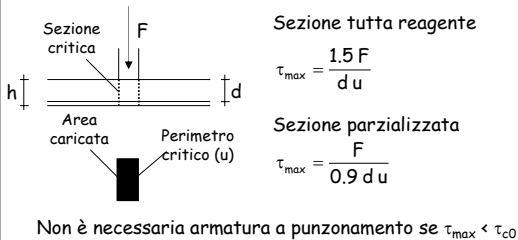


Le τ equilibrano la forza concentrata F

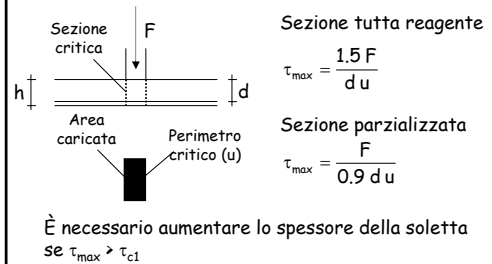
La forza massima che le τ possono contrastare è la resistenza a punzonamento dell'elemento in calcestruzzo

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

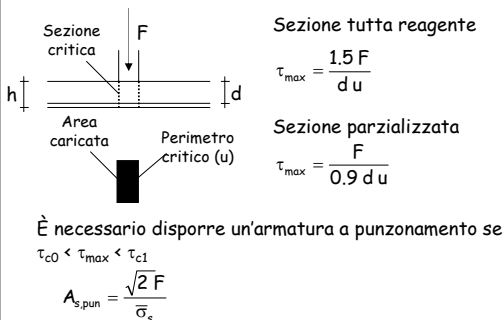
Verifica - tensioni ammissibili



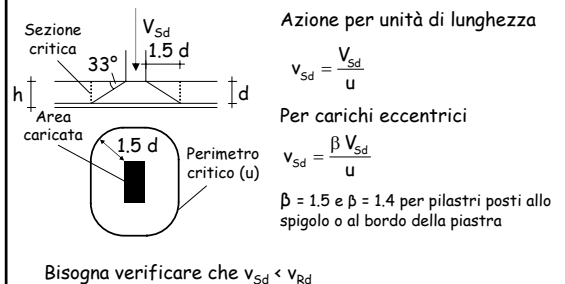
Verifica - tensioni ammissibili



Verifica - tensioni ammissibili



Verifica - stato limite ultimo



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

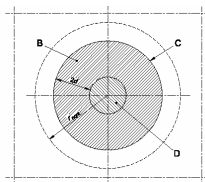
$$V_{Rd3} = V_{Rd1} + \frac{A_{s,pun} f_{yd}}{\sqrt{2} u}$$

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.

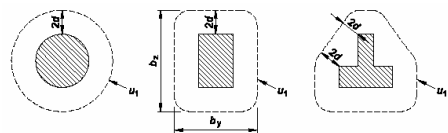


- A Sezione di base per la verifica
 - B Area di verifica di base A_{cont}
 - C Perimetro di verifica di base, u_1
 - D Area caricata A_{load}
 - E Ulteriore perimetro di verifica
- $\theta = \arctan(1/2)$
 $= 26,6^\circ$

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:

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

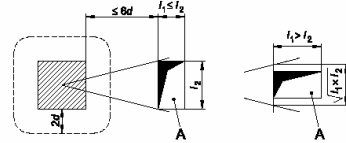
dove d_y e d_z sono le altezze utili relative alle armature poste nelle due direzioni ortogonali.

Eurocodice 2 vers. 2005

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

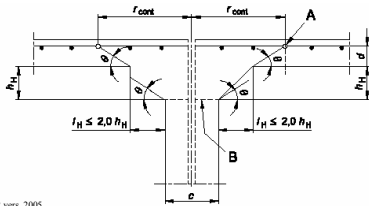


Eurocodice 2 vers. 2005

PUNZONAMENTO

Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

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



Eurocodice 2 vers. 2005

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:

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

dove:

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

c è il diametro del pilastro circolare.

Eurocodice 2 vers. 2005

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 compressive 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:

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

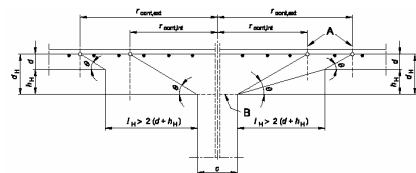
$$r_{cont} = 2d + 0,69 l_1$$

Eurocodice 2 vers. 2005

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.



Eurocodice 2 vers. 2005

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:

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

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

Eurocodice 2 vers. 2005

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 $u_{\text{out,ef}}$ sia trovato laddove l'armatura a taglio non è più richiesta.

Eurocodice 2 vers. 2005

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:

$v_{\text{rd,c}}$ 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.

$v_{\text{rd,cs}}$ 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.

$v_{\text{rd,max}}$ è il valore di progetto del massimo taglio-punzonamento resistente lungo la sezione di verifica considerata.

Eurocodice 2 vers. 2005

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

Si raccomanda di effettuare le seguenti verifiche

- L'armatura per il taglio-punzonamento non è necessaria se:
 $V_{\text{Ed}} < V_{\text{rd,c}}$
- Se V_{Ed} supera il valore $v_{\text{rd,c}}$ per la sezione di verifica considerata, si raccomanda che sia disposta l'armatura per il taglio - punzonamento
- lungo il perimetro del pilastro, o il perimetro dell'area caricata, si raccomanda che la massima tensione di taglio-punzonamento non sia superata:

$$V_{\text{Ed}} < V_{\text{rd,max}}$$

Eurocodice 2 vers. 2005

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:

$$v_{\text{Ed}} = \beta \frac{V_{\text{Ed}}}{u_1 d}$$

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_1 è la lunghezza del perimetro di verifica considerato;

Eurocodice 2 vers. 2005

PUNZONAMENTO

Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

β è dato da:

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

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	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

Eurocodice 2 vers. 2005

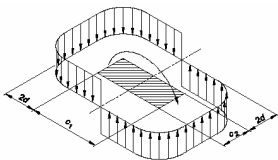
PUNZONAMENTO

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 :

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

$d/$ è la lunghezza infinitesima del perimetro;
 e è la distanza di $d/$ dall'asse intorno al quale agisce M_{Ed} .



Eurocodice 2 vers. 2005

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.

Eurocodice 2 vers. 2005

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 :

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

dove:

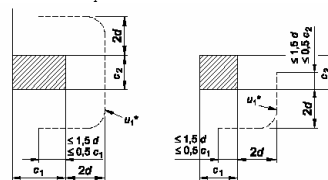
e_y, e_z sono le eccentricità M_{Ed}/V_{Ed} secondo gli assi y e z ;
 b_y, b_z sono le dimensioni del perimetro di verifica.

Eurocodice 2 vers. 2005

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 .



Eurocodice 2 vers. 2005

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:

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

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;

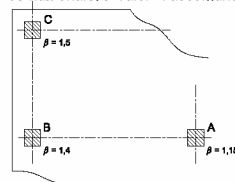
Eurocodice 2 vers. 2005

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.



Eurocodice 2 vers. 2005

PUNZONAMENTO

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

La resistenza a taglio per unità di lunghezza $v_{Rd,c}$ 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

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

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

; 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 .

Eurocodice 2 vers. 2005

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.

$$v_{Ed} = V_{Ed,red}/u'd$$

Per carico eccentrico

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

Eurocodice 2 vers. 2005

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:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} [1/(u'd)] \sin \alpha$$

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 0,57.

Eurocodice 2 vers. 2005

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:

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max}$$

dove:

u_0 per un pilastro interno u_0 = perimetro del pilastro [mm],
per un pilastro di bordo $u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$ [millimetri],
per un pilastro d'angolo $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$ [millimetri];

Eurocodice 2 vers. 2005

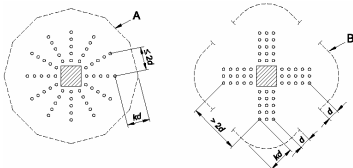
PUNZONAMENTO

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 $u_{out,ef}$).



Eurocodice 2 vers. 2005