

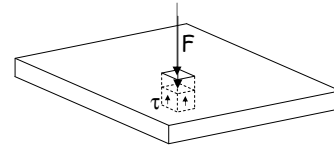
Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale di fondazioni e opere di sostegno

5 - Platee o plinti bassi: punzonamento

Spoletto
19-20 aprile 2012
Aurelio Ghersi

Il fenomeno

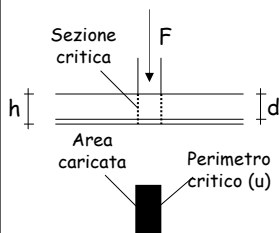


Le τ equilibrano la forza concentrata F

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

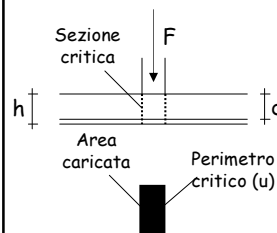
$$\tau_{\max} = \frac{1.5 F}{d u}$$

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

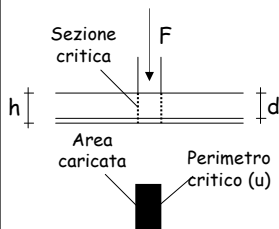
$$\tau_{\max} = \frac{1.5 F}{d u}$$

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

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

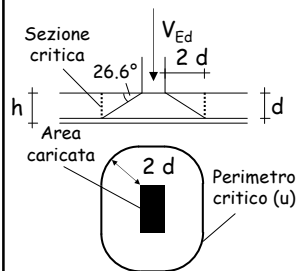
Sezione parzializzata

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

È necessario disporre un'armatura a punzonamento se $\tau_{c0} < \tau_{\max} < \tau_{c1}$

$$A_{s,pun} = \frac{\sqrt{2} F}{\sigma_s}$$

Verifica - stato limite ultimo



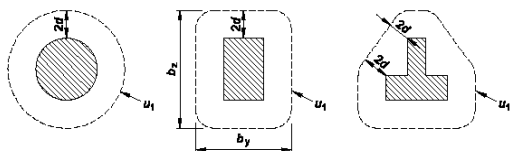
La resistenza a punzonamento deve essere verificata lungo il perimetro critico u

Se è disposta un'armatura a punzonamento, è opportuno ripetere la verifica per un ulteriore perimetro $u_{out,ef}$ individuato dove l'armatura a punzonamento non è più presente

EC2, punto 6.4.1

Verifica a punzonamento perimetro critico

- Il perimetro di verifica di base u_1 può generalmente essere collocato a una distanza $2d$ dall'area caricata



EC2, punto 6.4.2

Verifica a punzonamento perimetro critico e sezione di verifica

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

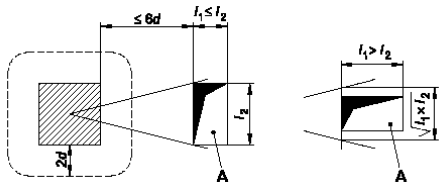
$$d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2}$$

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

EC2, punto 6.4.2

Verifica a punzonamento perimetro critico

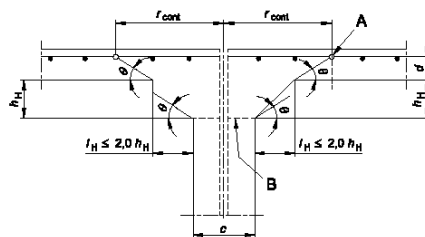
- Per aree caricate in prossimità di aperture, se la minor distanza fra il perimetro dell'area caricata e il bordo dell'apertura non supera $6d$, si ritiene inefficace la parte del perimetro di verifica contenuta entro le due tangenti tracciate dal centro dell'area caricata fino al contorno del foro



EC2, punto 6.4.2

Verifica a punzonamento perimetro critico

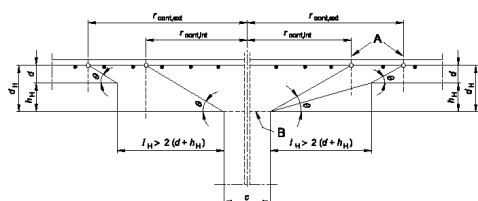
- Per piastre con pilastri muniti di capitello circolare per le quali $l_H < 2h_H$, una verifica delle tensioni di taglio-punzonamento è richiesta solo sulla sezione di verifica al di là del capitello



EC2, punto 6.4.2

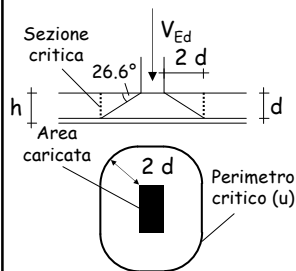
Verifica a punzonamento perimetro critico

- 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



EC2, punto 6.4.2

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica



Tensione

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{u d}$$

per carichi eccentrici

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

EC2, punto 6.4

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

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

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

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;

EC2, punto 6.4.3

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

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

EC2, punto 6.4.3

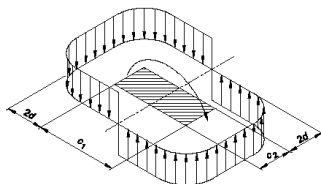
Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

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} .



EC2, punto 6.4.3

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

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.

EC2, punto 6.4.3

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

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

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

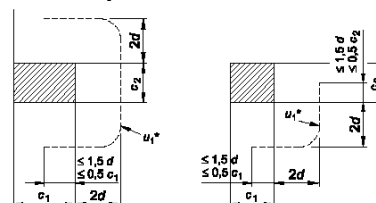
dove:

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.

EC2, punto 6.4.3

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

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^* .



EC2, punto 6.4.3

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

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:

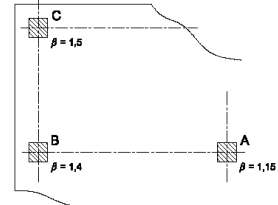
u_1 è il perimetro di verifica di base;
 u_{1*} è il perimetro di verifica di base ridotto;
 e_{par} è l'eccentricità parallela al bordo della piastra prodotta da un momento rispetto a un asse perpendicolare al bordo della piastra;

EC2, punto 6.4.3

Verifica a punzonamento tensioni nella sezione critica

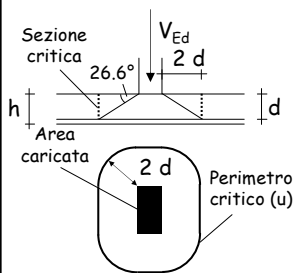
Per strutture la cui stabilità trasversale non dipende dal funzionamento a telaio del complesso piastra-pilastri, e se le luci adiacenti non differiscono in lunghezza più del 25%, per β si possono adottare valori approssimati

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



EC2, punto 6.4.3

Verifica - stato limite ultimo



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

EC2, punto 6.4

Tensione

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{u d}$$

per carichi eccentrici

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

β può essere calcolato in funzione di M_{Ed} e V_{Ed}

Valori approssimati:
 $\beta = 1.5$, $\beta = 1.4$ e $\beta = 1.15$
 per pilastri posti allo spigolo, lungo il bordo o all'interno della piastra

Verifica - stato limite ultimo

Si definiscono le seguenti tensioni resistenti:

$v_{Rd,c}$ Resistenza in assenza di armatura a punzonamento

$v_{Rd,max}$ Resistenza della sezione in calcestruzzo in presenza di armatura a punzonamento

$v_{Rd,cs}$ Resistenza dell'armatura a punzonamento
 preferisco
 $v_{Rd,s}$

EC2, punto 6.4.3

Verifica - stato limite ultimo

Devono essere effettuate le seguenti verifiche:

Se $v_{Ed} < v_{Rd,c}$ non occorre armatura a punzonamento

Se $v_{Rd,c} < v_{Ed} < v_{Rd,max}$ la sezione di calcestruzzo va bene, ma è necessario disporre armatura a punzonamento

Se $v_{Ed} < v_{Rd,cs}$ l'armatura a punzonamento è sufficiente

EC2, punto 6.4.3

Resistenza in assenza di armature (EC2, punto 6.4.4)

$$v_{Rd,c} = 0.18 k \frac{\sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}}}{\gamma_c} + 0.1 \sigma_{cp}$$

$$\geq v_{min} = 0.035 \sqrt{k^3 f_{ck}} \quad \text{quando } \rho_l \text{ è molto piccolo}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cp,x} + \sigma_{cp,y}}{2}$$

$$\sigma_{cp,x} = \frac{N_{Edx}}{A_{cx}} \quad \sigma_{cp,y} = \frac{N_{Edy}}{A_{cy}}$$

positiva se compressione

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

d in mm

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \rho_{ly}} \leq 0.02$$

Resistenza in presenza di armature (EC2, punto 6.4.5)

Resistenza del calcestruzzo:

$$v_{Rd,max} = \frac{1}{2} f'_{cd} = \frac{1}{2} 0.5 f_{cd}$$

Resistenza dell'armatura:

$$v_{Rd,cs} = 0.75 v_{Rd,c} + 1.5 \frac{d}{s_r} \frac{A_{s,pun} f_{yd} \sin \alpha}{u d}$$

Verifica - stato limite ultimo

• Ulteriore verifica, lungo il perimetro del pilastro

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

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} \quad (6.53)$$

dove:

u_0 per un pilastro interno u_0 = sviluppo del perimetro del pilastro [millimetri],

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];

c_1, c_2 sono le dimensioni del pilastro come indicato nella figura 6.20;

v vedere l'espressione (6.6);

β vedere punto 6.4.3 (3), (4) e (5).

Nota Il valore di $v_{Rd,max}$ da adottare in uno Stato può essere reperito nella sua appendice nazionale. Il valore raccomandato è 0,5 $v_{f_{cd}}$.

EC2, punto 6.4.5

Verifica - stato limite ultimo

• Ulteriore verifica, lungo il perimetro del pilastro

• In sostanza:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_0 d} \leq 0.25 f_{cd}$$

EC2, punto 6.4.5