

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

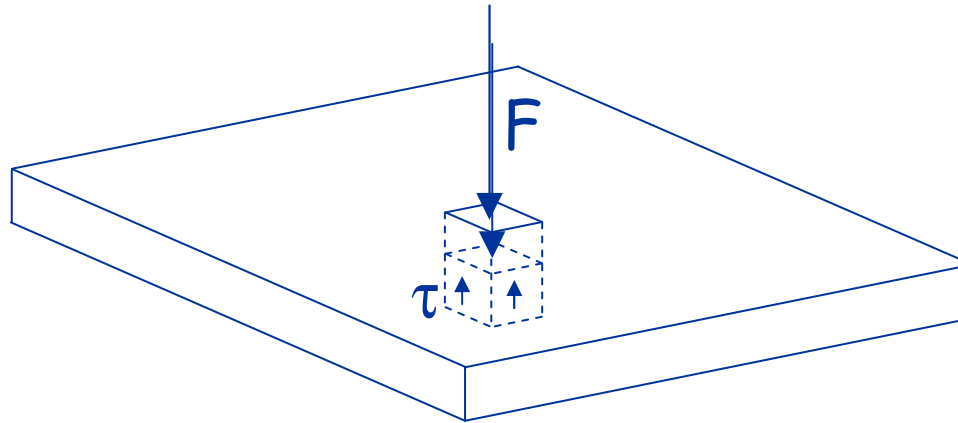
Progetto di elementi strutturali in c.a.

7 - Punzonamento

Spoletto
30 settembre - 2 ottobre 2010

Aurelio Gheresi

Il fenomeno

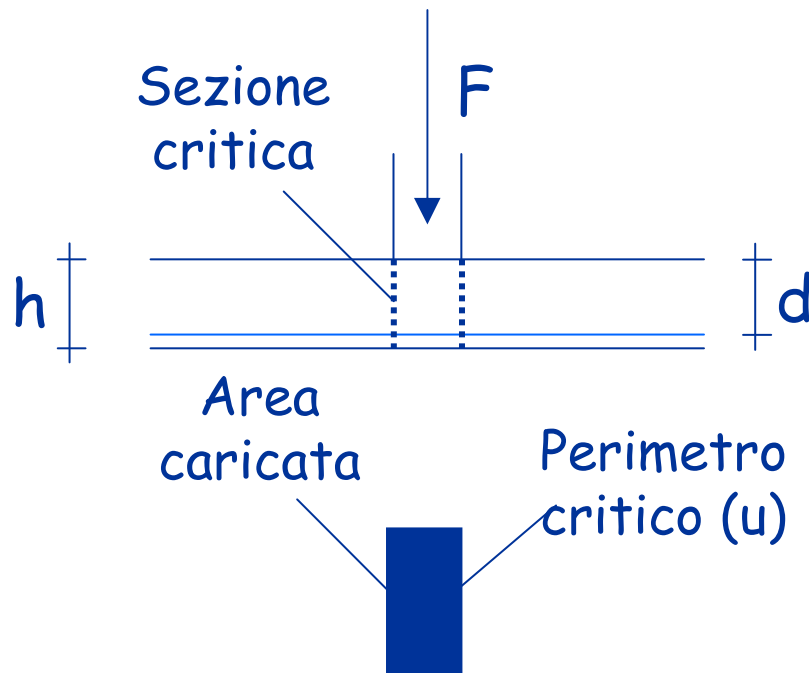


Le τ equilibrano la forza concentrata F

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

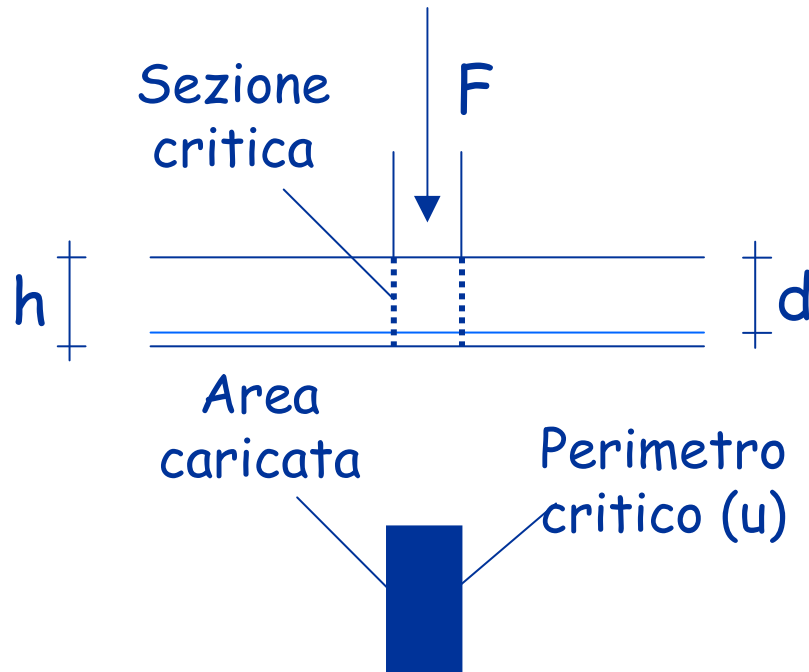
$$\tau_{\max} = \frac{1.5 F}{d u}$$

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

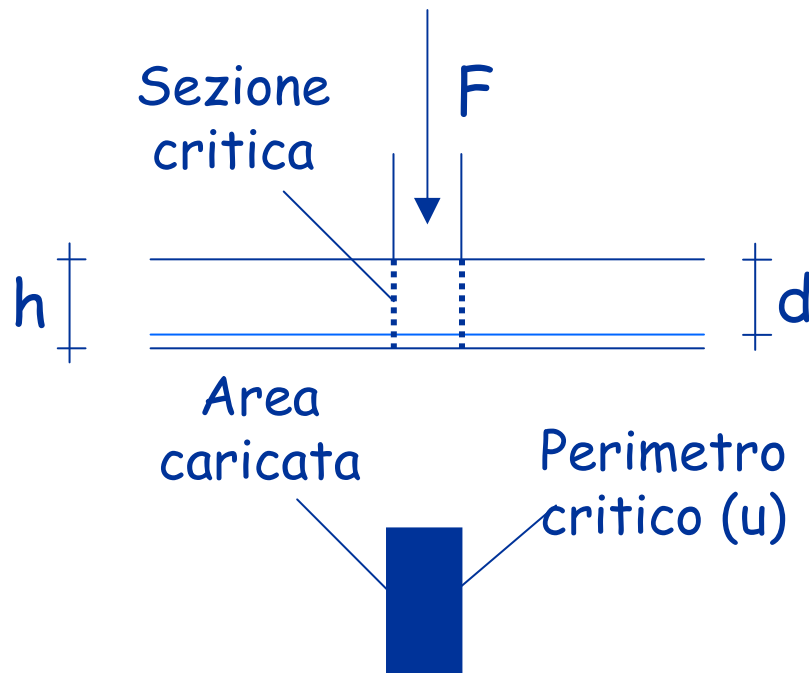
$$\tau_{\max} = \frac{1.5 F}{d u}$$

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

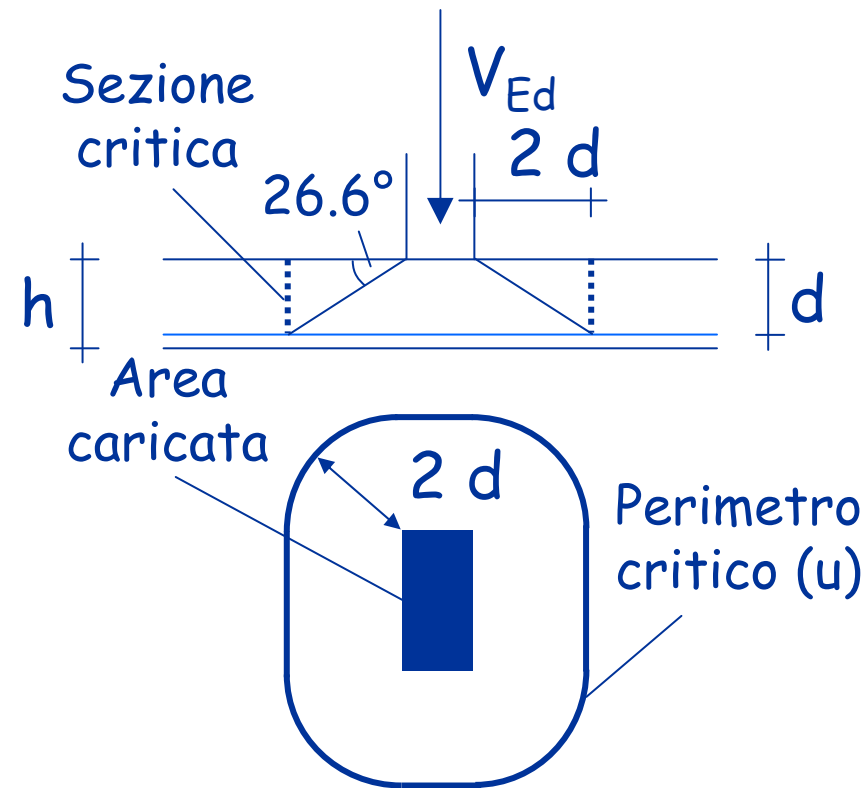
$$\tau_{\max} = \frac{F}{0.9 d u}$$

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



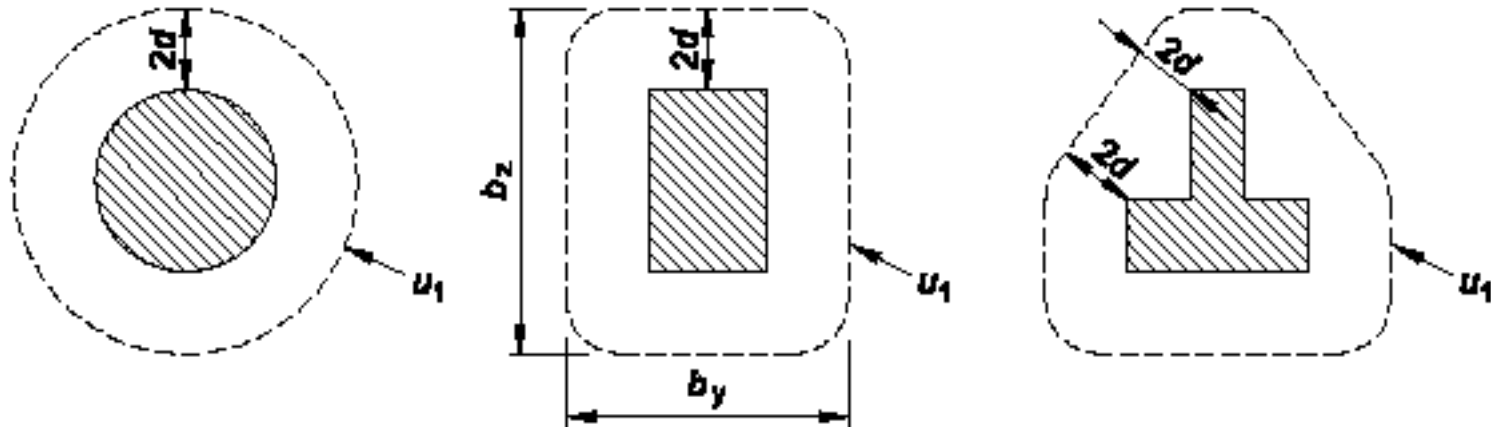
La resistenza a punzonamento deve essere verificata lungo il perimetro critico u

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

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:

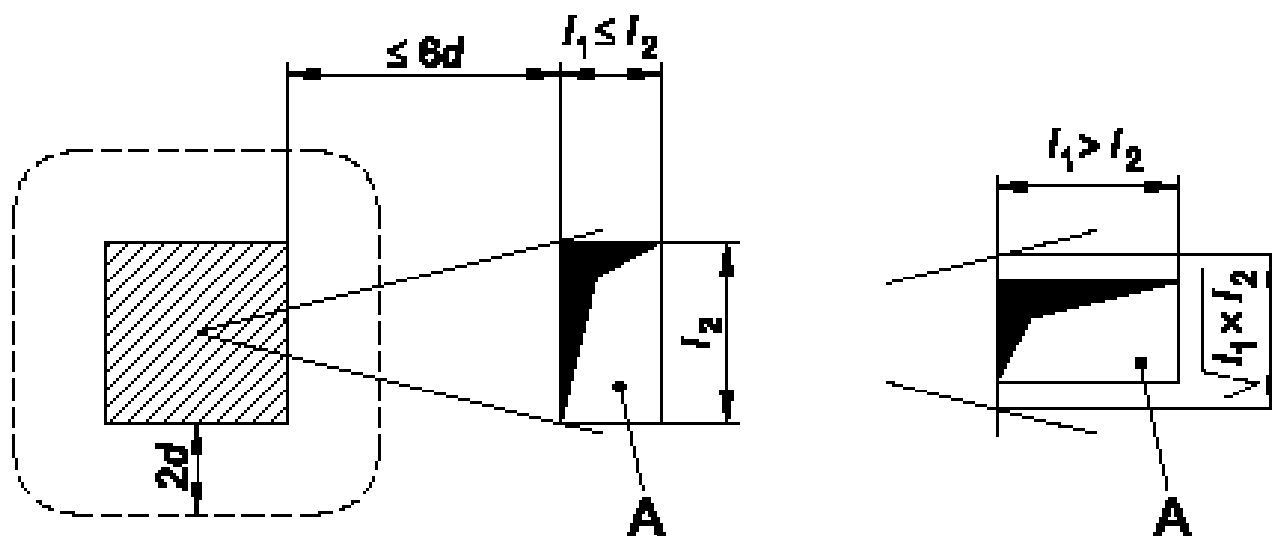
$$d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2}$$

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

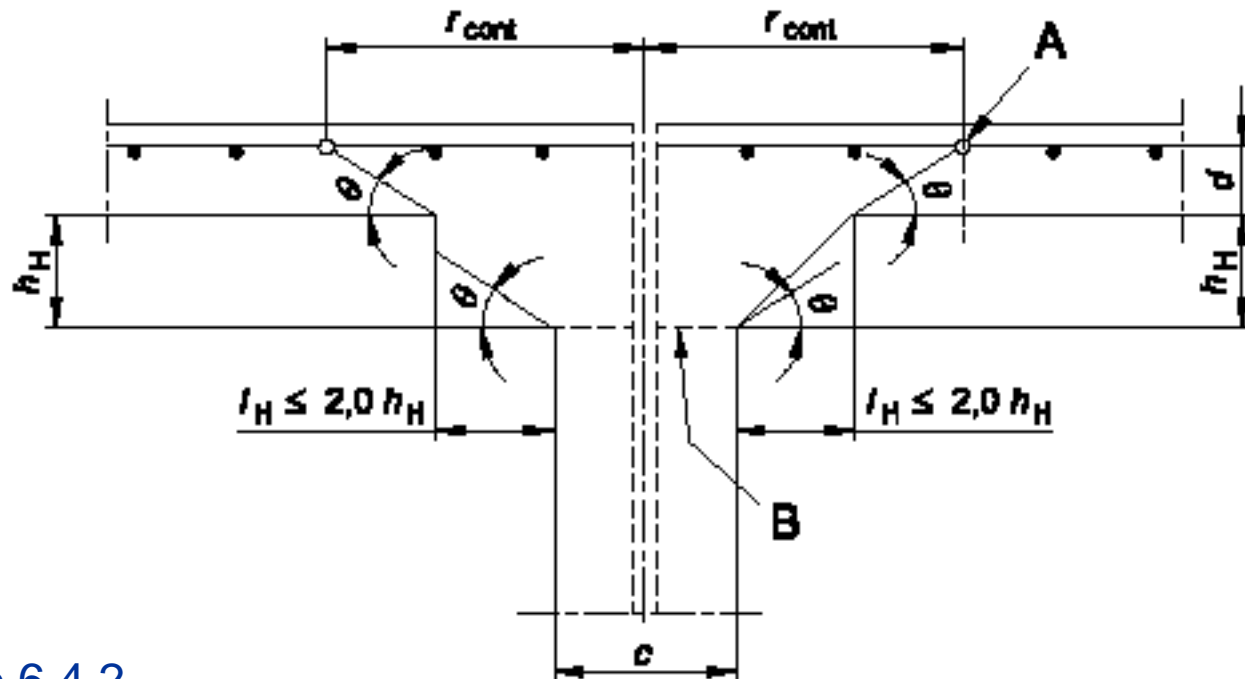
Per aree caricate in prossimità di aperture, se la minor distanza fra il perimetro dell'area caricata e il bordo dell'apertura non supera $6d$, si ritiene inefficace la parte del perimetro di verifica contenuta entro le due tangenti tracciate dal centro dell'area caricata fino al contorno del foro



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:

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

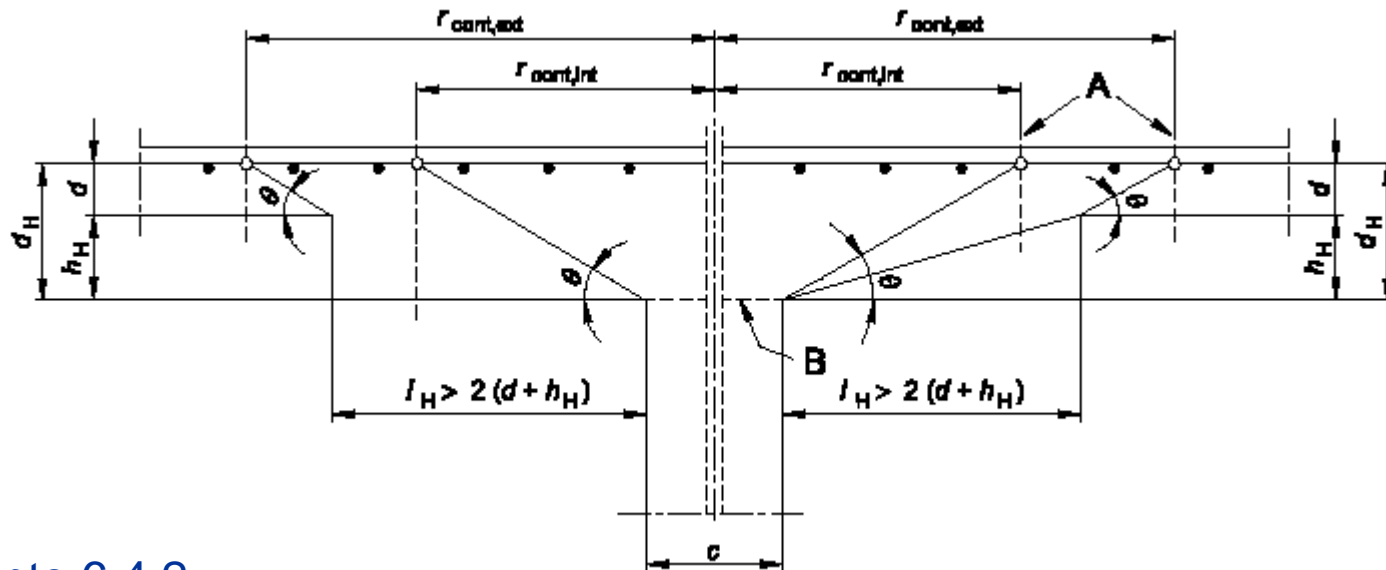
e

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

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

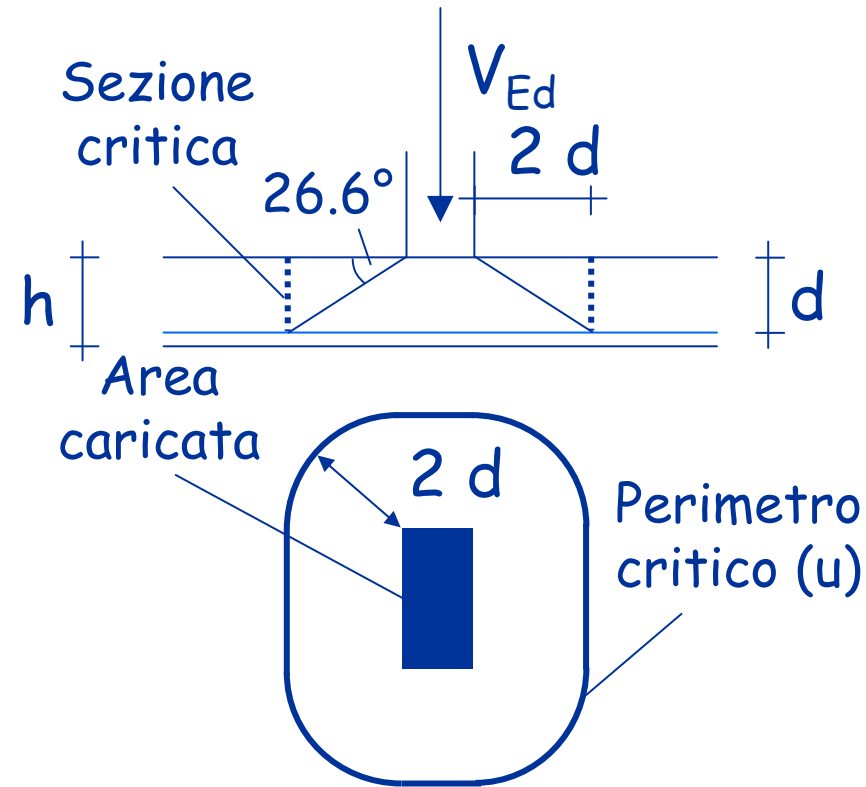
Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

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

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

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

Verifica a punzonamento stato limite ultimo



Tensione

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

per carichi eccentrici

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

Verifica a punzonamento

stato limite ultimo

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;

Verifica a punzonamento stato limite ultimo

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

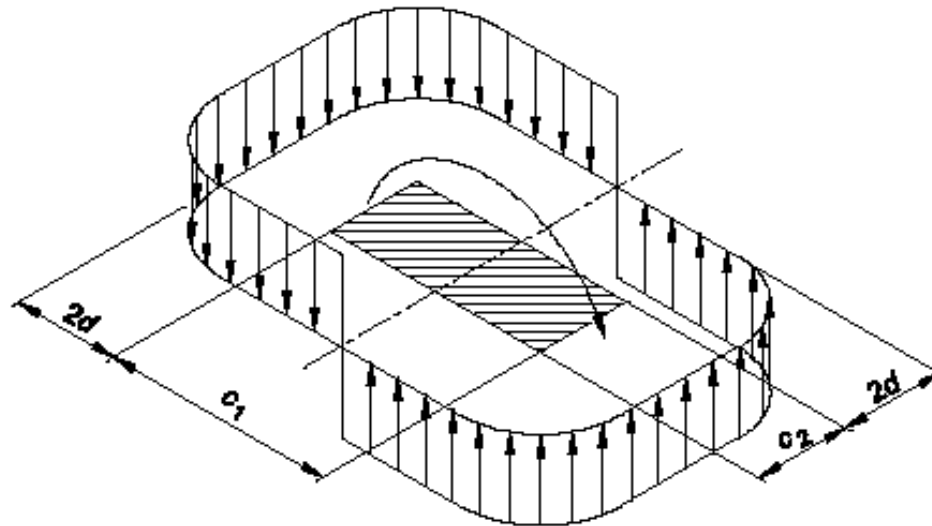
Verifica a punzonamento stato limite ultimo

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} .



Verifica a punzonamento stato limite ultimo

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 stato limite ultimo

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

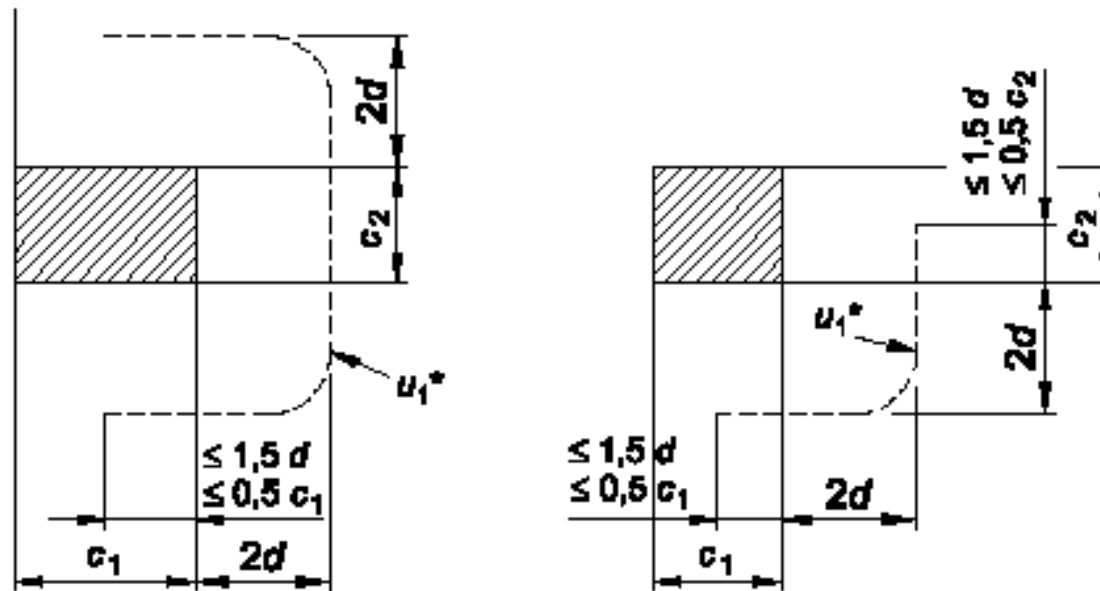
$$\beta = 1 + 1.8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$$

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.

Verifica a punzonamento stato limite ultimo

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^*



Verifica a punzonamento

stato limite ultimo

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

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

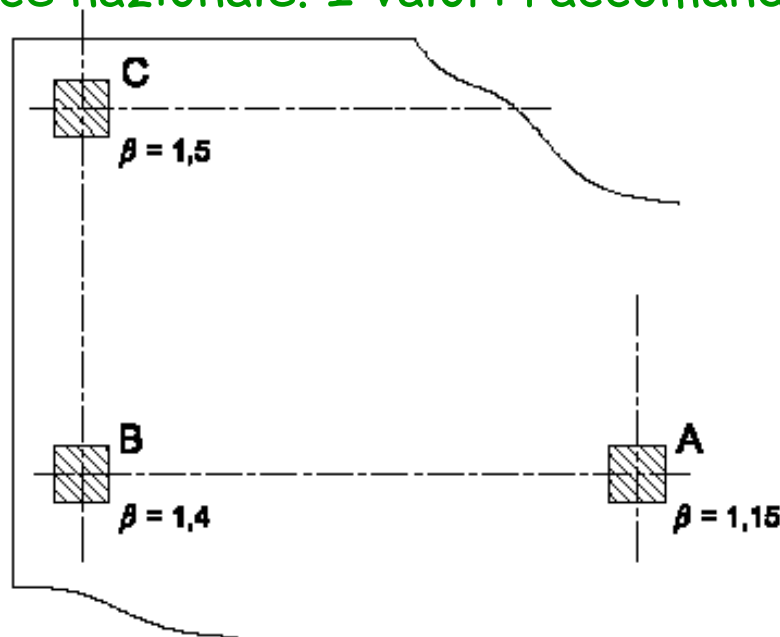
dove:

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;

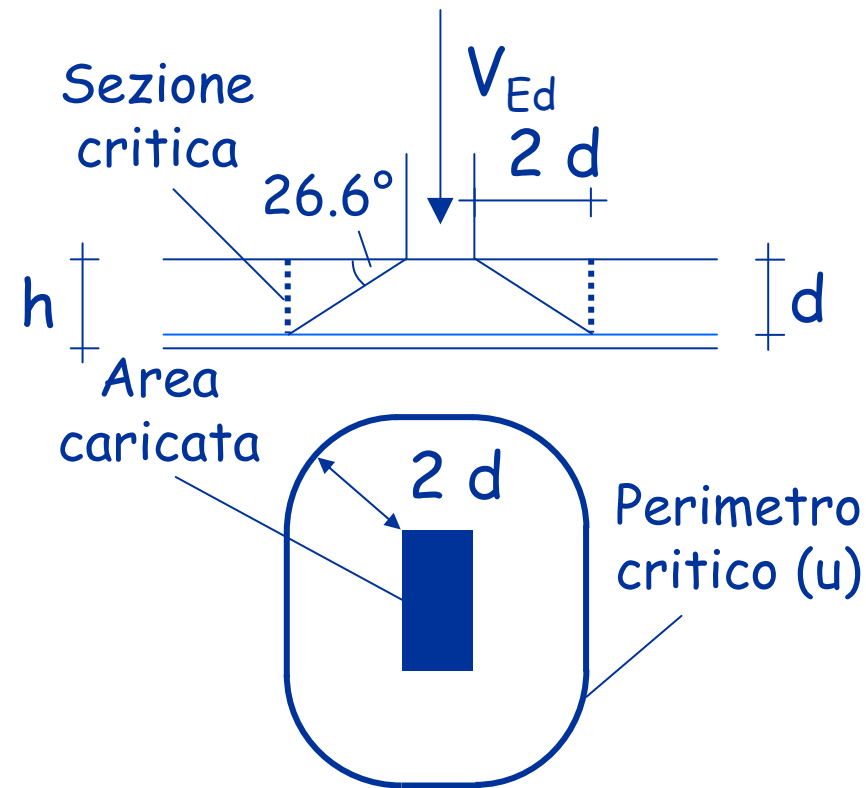
Verifica a punzonamento stato limite ultimo

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.



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

$V_{Rd,s}$

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

Resistenza in assenza di armature (EC2, punto 6.4.4)

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

$$\geq v_{min} = 0.035 \sqrt{k^3 f_{ck}}$$

quando ρ_l è molto piccolo

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cpx} + \sigma_{cpy}}{2}$$

$$\sigma_{cpx} = \frac{N_{Edx}}{A_{cx}} \quad \sigma_{cpy} = \frac{N_{Edy}}{A_{cy}}$$

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:

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