

# Lezione

Progetto di Strutture

# PUNZONAMENTO

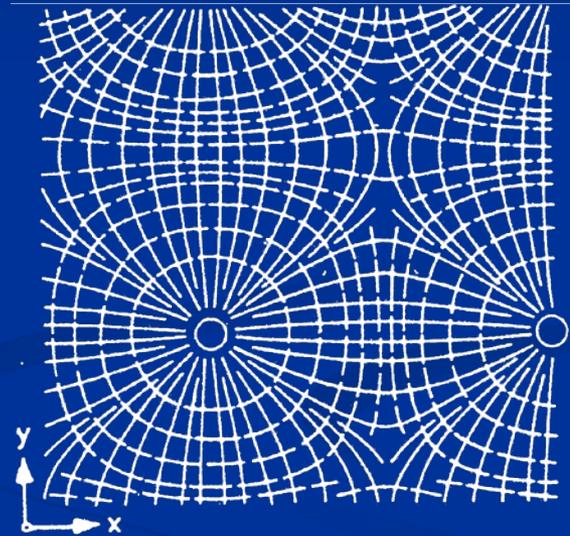
## Considerazioni

Il pericolo del punzonamento sussiste nelle piastre con appoggio o carico puntiforme. Ovvero, esso può risultare da un carico concentrato o da una reazione agente su un'area relativamente piccola di una piastra o di una fondazione, genericamente definita "area caricata".

# PUNZONAMENTO

## Considerazioni

Con le piastre con appoggio a punti oppure nelle piastre di fondazione per pilastri singoli, nella zona dei pilastri si producono momenti principali che ambedue negativi si sviluppano in cerchi concentrici e radialmente, originando fessurazioni circolari da flessione che a causa della contemporanea presenza di taglio proseguono nella piastra con una leggera inclinazione.

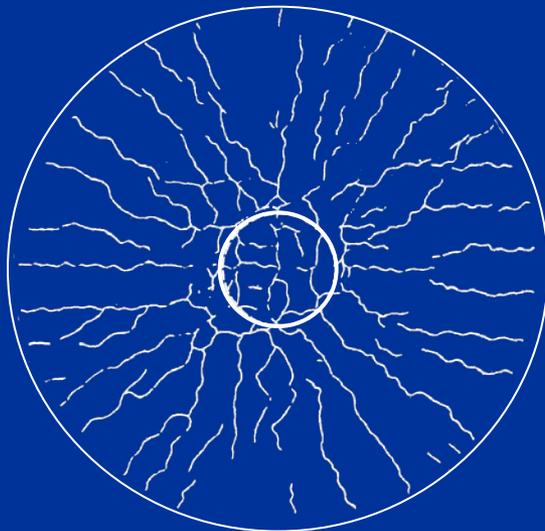


Linee dei momenti principali di un solaio a fungo sottoposto ad un carico uniformemente ripartito

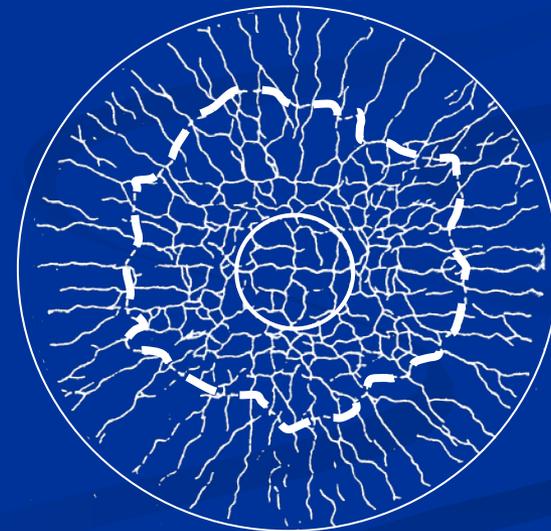
# PUNZONAMENTO

## Modalità di fessurazione e collasso

Per bassi valori del carico le dilatazioni tangenziali sono maggiori di quelle radiali. Per tal motivo si producono dapprima delle fessurazioni radiali e solo agli stadi superiori di carico alcune poche fessurazioni circolari



Carico di servizio

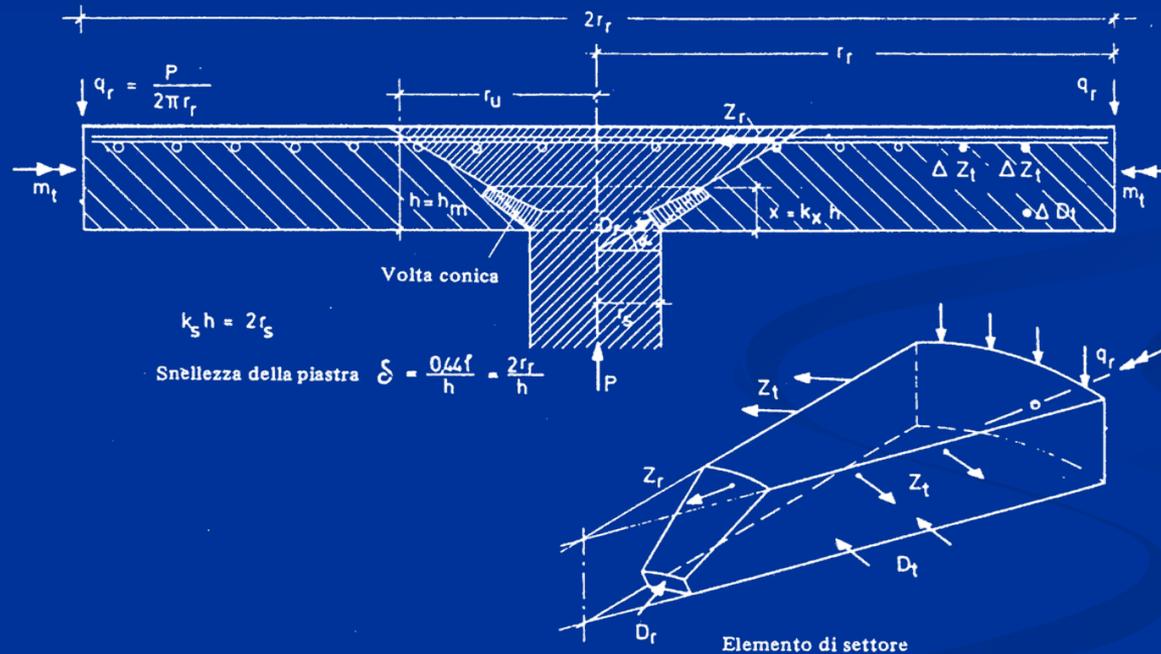


Carico di collasso

(tratto da F. Leonhardt: Calcolo di progetto e tecniche costruttive)

# PUNZONAMENTO

## Considerazioni

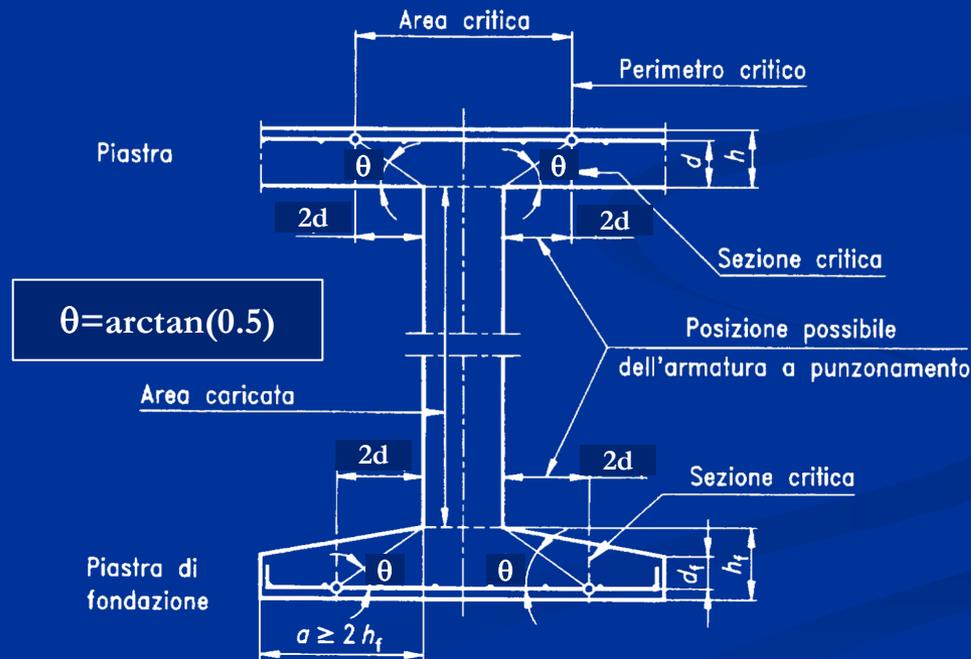


(tratto da F. Leonhardt: Calcolo di progetto e tecniche costruttive)

# PUNZONAMENTO

## Generalità

Il punzonamento può risultare da un carico concentrato o da una reazione agente su un'area relativamente piccola di una piastra o di una fondazione, definita "area caricata".



# PUNZONAMENTO

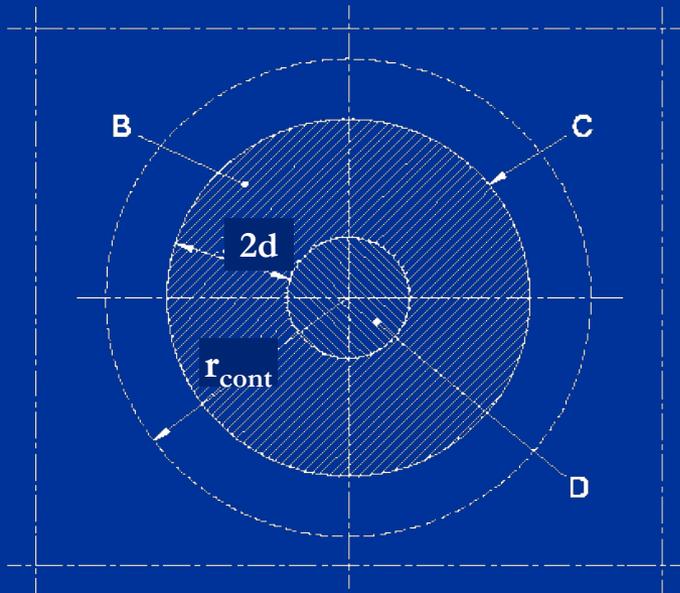
## Generalità (4.3.4)

- La resistenza a taglio deve essere verificata lungo un perimetro critico definito.
- Nelle piastre soggette a punzonamento non è di regola consentito ridurre incrementare il  $V_{Rd1}$  per effetto arco. Nelle piastre di fondazione il taglio agente può essere ridotto per tenere conto della reazione del terreno all'interno del perimetro critico.

# 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.

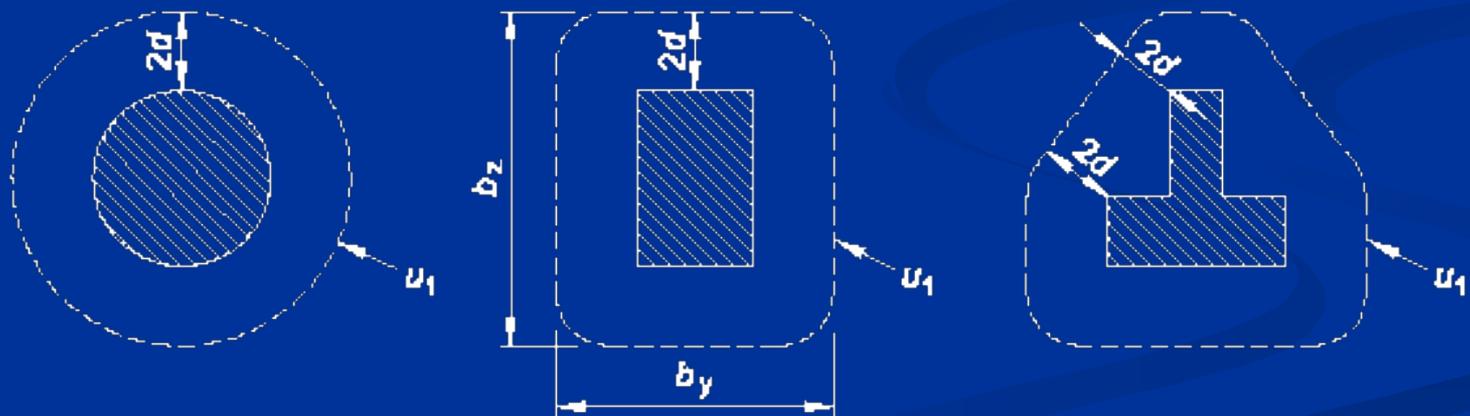


- A Sezione di base per la verifica
- B Area di verifica di base  $A_{cont}$
- C Perimetro di verifica di base,  $u_1$   
 $\theta = \arctan(1/2) = 26,6^\circ$
- D Area caricata  $A_{load}$
- $r_{cont}$  Ulteriore perimetro di verifica

# 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:

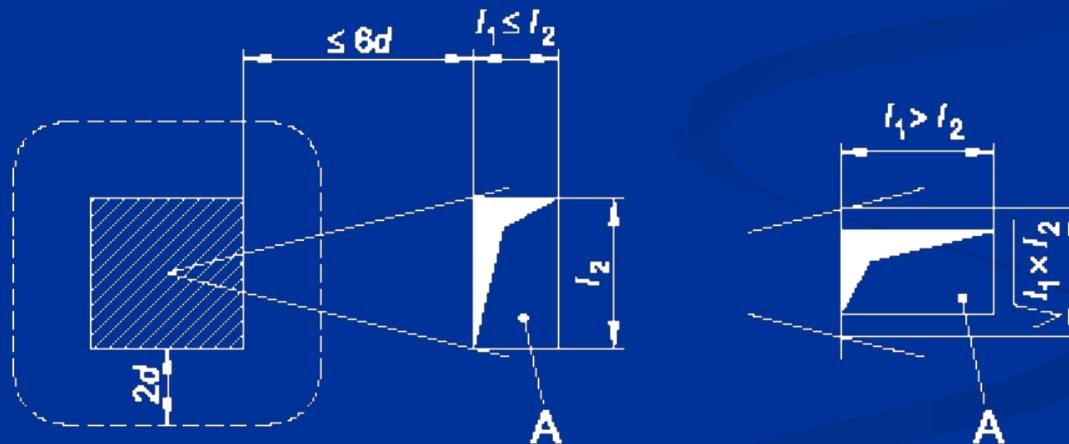
$$d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2}$$

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

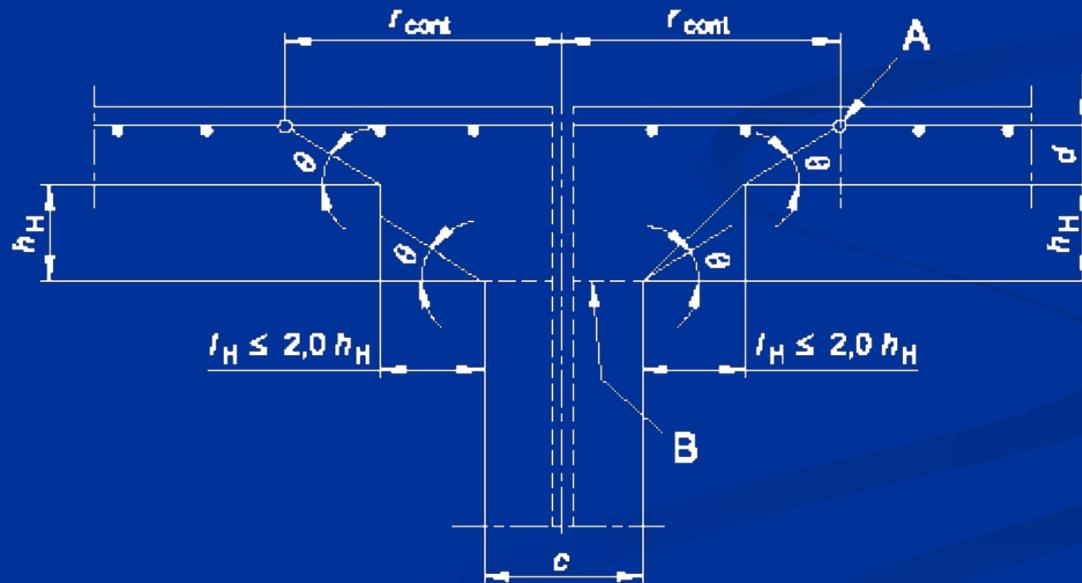
Per aree caricate in prossimità di aperture, se la minor distanza fra il perimetro dell'area caricata e il bordo dell'apertura non supera  $6d$ , si ritiene inefficace la parte del perimetro di verifica contenuta entro le due tangenti tracciate dal centro dell'area caricata fino al contorno del foro



# PUNZONAMENTO

## Distribuzione del carico e perimetro di verifica di base

Per piastre con pilastri muniti di capitello circolare per le quali  $l_H < 2,0h_H$ , 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  $r_{\text{cont}}$  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:

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

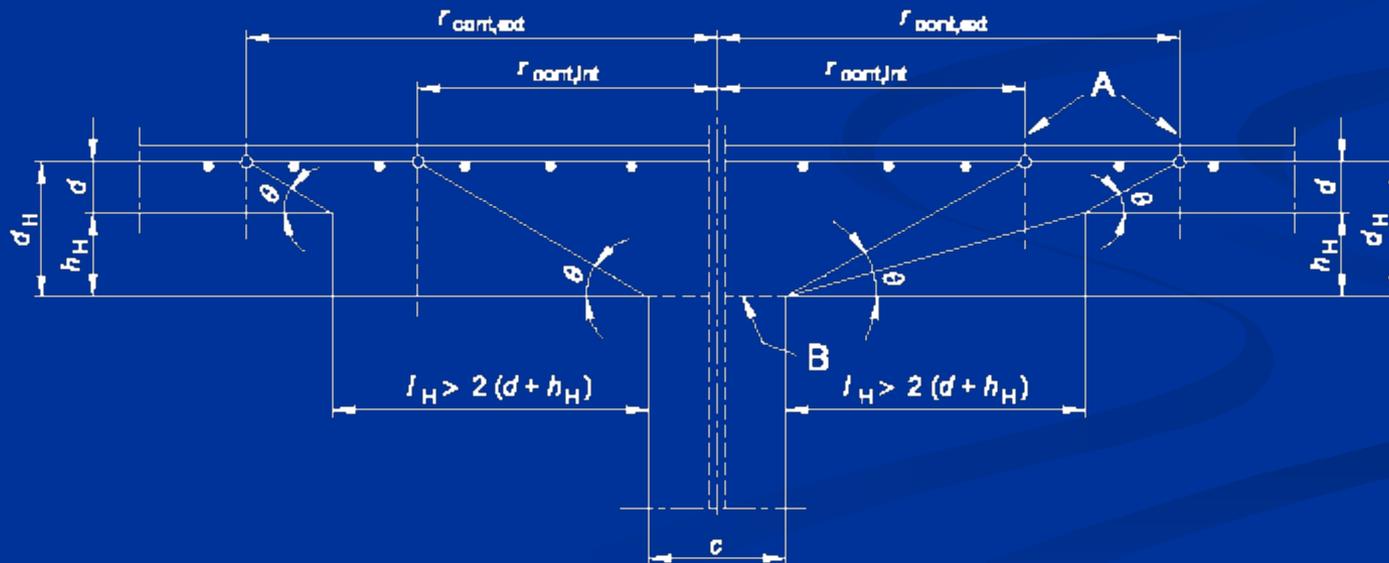
e

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

# 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)

$\beta$  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

$c_1/c_2$	$\leq 0.5$	1.0	2.0	$\geq 3.0$
$k$	0.45	0.60	0.70	0.80

# PUNZONAMENTO

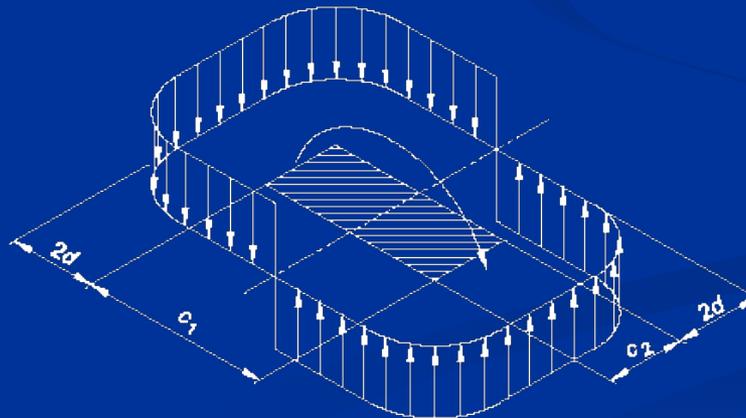
Metodo di calcolo per la verifica a punzonamento (6.4.3)

$W_1$  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:

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1c_2 + 4c_2d + 16d^2 + 2\pi dc_1$$

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:

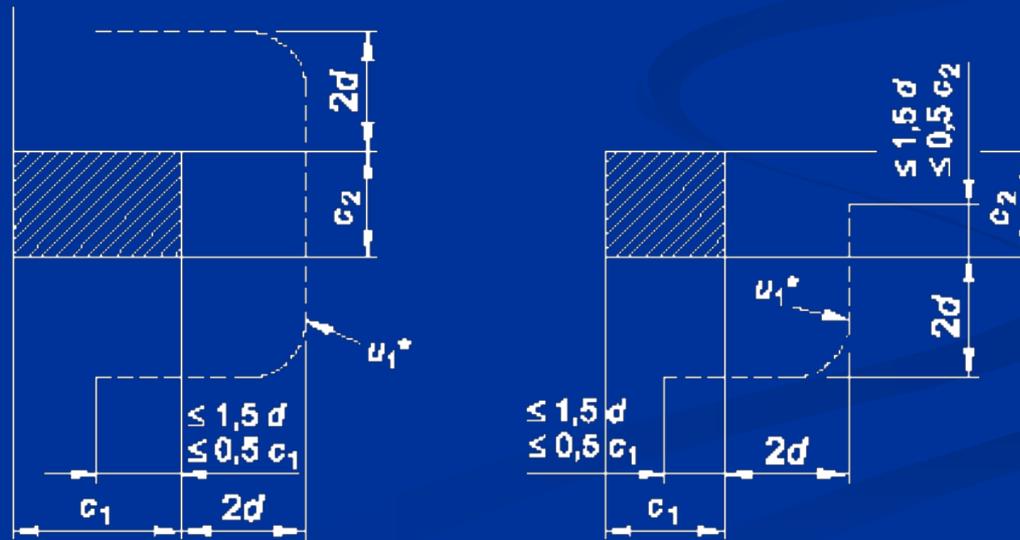
$e_y$  ,  $e_z$  sono le eccentricità  $M_{Ed}/V_{Ed}$  secondo gli assi  $y$  e  $z$  ;

$b_y$  ,  $b_z$  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,  $\beta$  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;

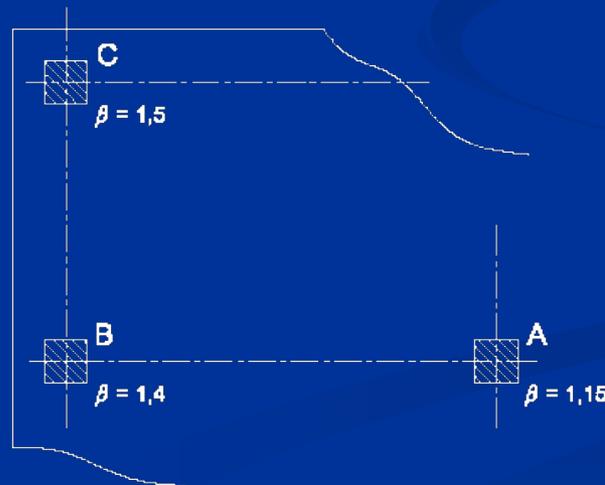
$e_{par}$  è l'eccentricità parallela al bordo della piastra prodotta da un momento rispetto a un asse perpendicolare al bordo della piastra;

# 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  $\beta$  si possono adottare valori approssimati.

Nota: Valori di  $\beta$  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);

$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1y} \rho_{1z}} \leq 0,02$  ;  $\rho_{1y}$  e  $\rho_{1z}$  si riferiscono all'armatura tesa disposta nelle direzioni  $y$  e  $z$ .

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

$\Delta V_{Ed}$  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);

$\alpha$  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:

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

dove:

$u_0$  per un pilastro interno  
per un pilastro di bordo  
per un pilastro d'angolo

$u_0$  = perimetro del pilastro [mm],  
 $u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$  [millimetri],  
 $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$  [millimetri];

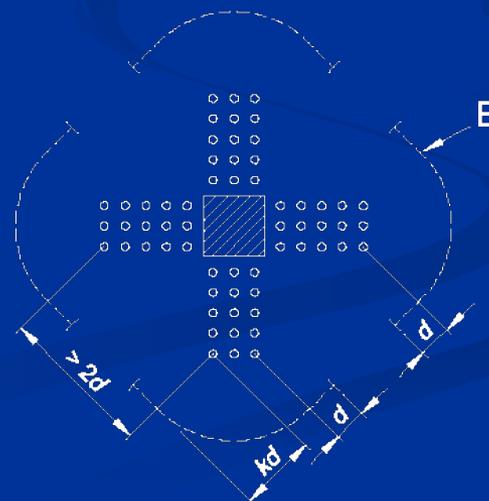
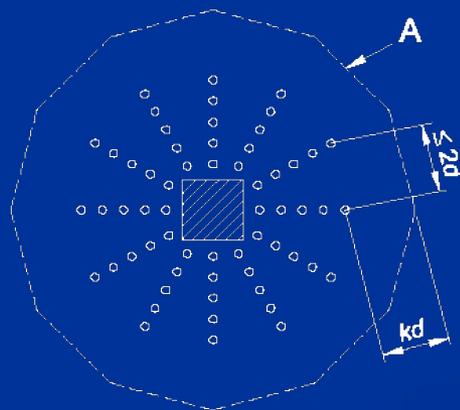
# PUNZONAMENTO

## 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  $u_{out,ef}$ ).



**FINE**