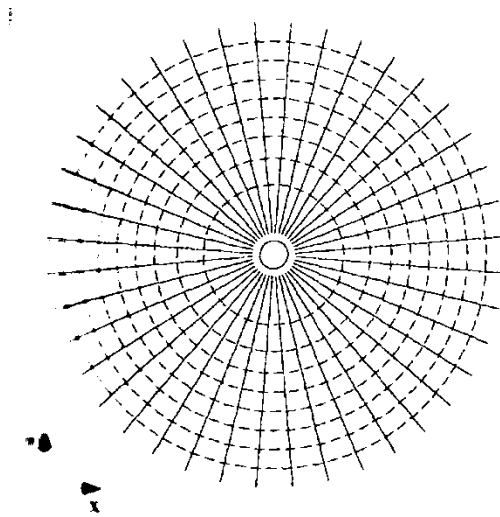


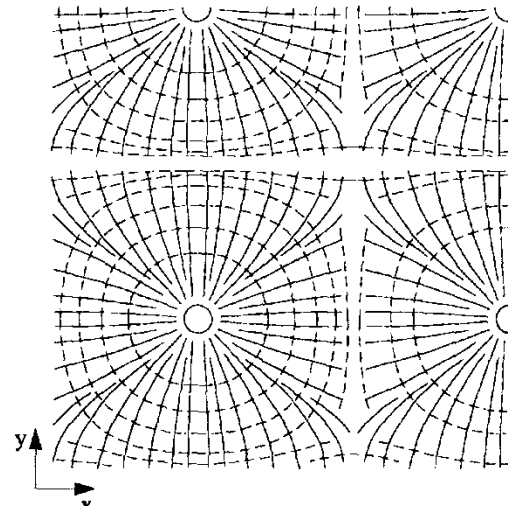
Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

E' una rottura a taglio che si verifica in corrispondenza di un carico concentrato applicato su una piastra. Spesso si manifesta come una rottura fragile.



Simmetria radiale



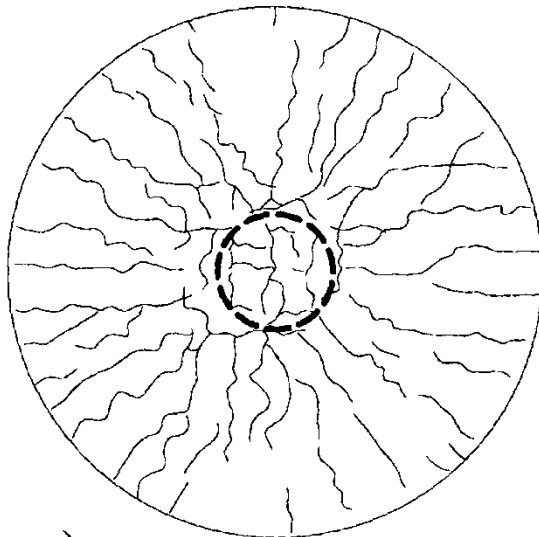
Assenza di simmetria radiale

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

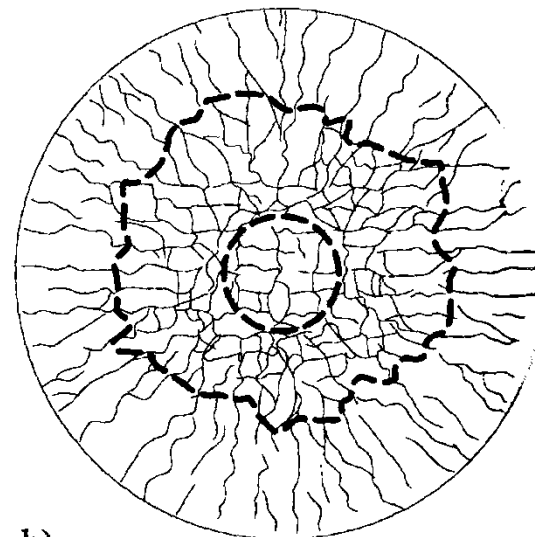
Inizialmente si formano le fessure radiali e successivamente quelle anulari.

Le fessure anulari si propagano con inclinazione di $30^\circ - 35^\circ \rightarrow$ superficie di rottura troncoconica



a)

Prima fase fessurativa



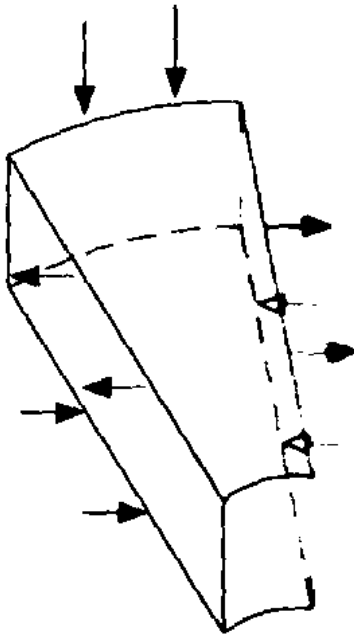
b)

Quadro fessurativo al collasso

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Nella fase fessurata è possibile considerare il tronco di cono suddiviso in settori delimitati dalle fessure radiali. Tali settori sono sollecitati dal taglio derivante dalla restante parte della piastra applicato sulla superficie anulare; e dalle forze di trazione superiori e di compressione inferiori applicate lungo le superfici radiali.



- 1. Rottura delle bielle compresse di cls.**
- 2. Rottura in assenza di armatura a punzonamento;**
- 3. Stato limite lungo l'armatura a punzonamento;**

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Prescrizioni normative

Le lastre devono essere verificate nei riguardi del punzonamento allo stato limite ultimo, in corrispondenza dei pilastri e di carichi concentrati.

In mancanza di un'armatura trasversale appositamente dimensionata, la resistenza al punzonamento deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo, intendendo la sollecitazione distribuita su di un perimetro efficace di piastra distante $2d$ dall'impronta caricata, con d altezza utile (media) della piastra stessa.

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Verifica delle bielle compresse.

Si effettua indipendentemente dalla presenza dell'armatura trasversale.

Tale resistenza è legata alla resistenza a compressione del cls sul contorno del pilastro o dell'area caricata.

Tensione di punzonamento (EC2).

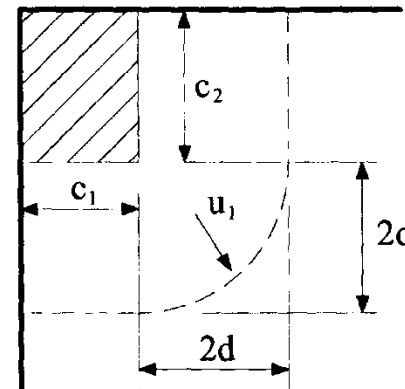
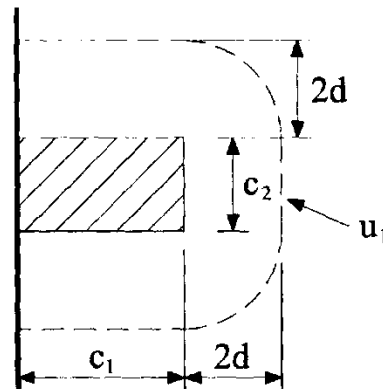
$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} \leq v \cdot 0.4 f_{cd}$$

$$v = 0.5 \quad \text{per } f_{ck} < 70 \text{ N/mm}^2$$

Per i **pilastrini interni** u_0 è il perimetro del pilastro stesso

Per i **pilastrini esterni**

$$u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$$



$$u_0 = 3d \leq c_2 + c_1$$

Figura 3.6 Perimetro critico nel caso di pilastrini di bordo e d'angolo

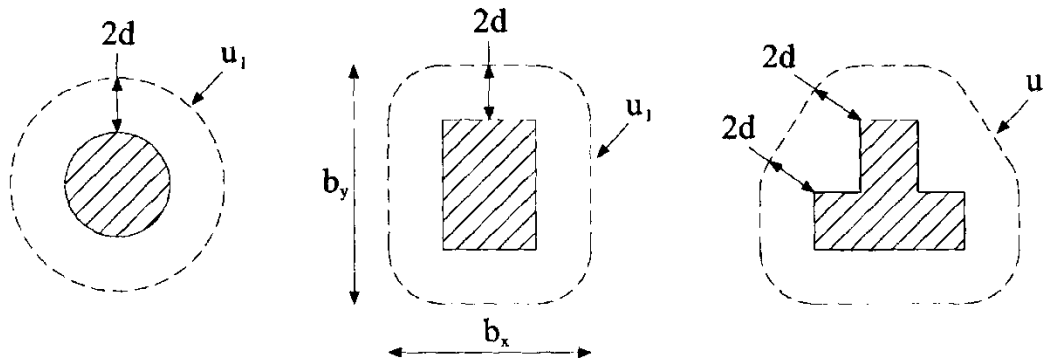
Se la verifica a punzonamento **non** è soddisfatta, è possibile

- **Aumentare le dimensioni del pilastro o della zona caricata;**
- **Aumentare lo spessore della piastra;**
- **Inserire un capitello in testa al pilastro, vale a dire aumentare lo spessore della piastra in prossimità del pilastro;**
- **Adottare una classe di resistenza del cls più alta.**

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Si assume che l'inclinazione del **cono di rottura** sia pari a circa 30°.

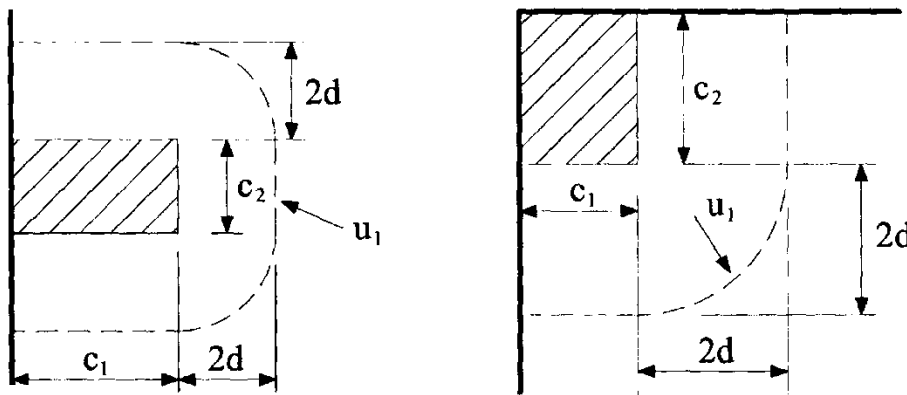


Perimetro critico nel caso di pilastri interni alla piastra

Tensione di punzonamento

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

u_i = perimetro critico



Perimetro critico nel caso di pilastri di bordo e d'angolo

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Nel caso di presenza di taglio e flessione.

Tensione di punzonamento

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

u_i = perimetro critico

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

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

Tabella 3.1 Valori di k al variare del rapporto c_1/c_2

c_1/c_2	≤ 0.5	1.0	2.0	≥ 3.0
k	0.45	0.6	0.7	0.8

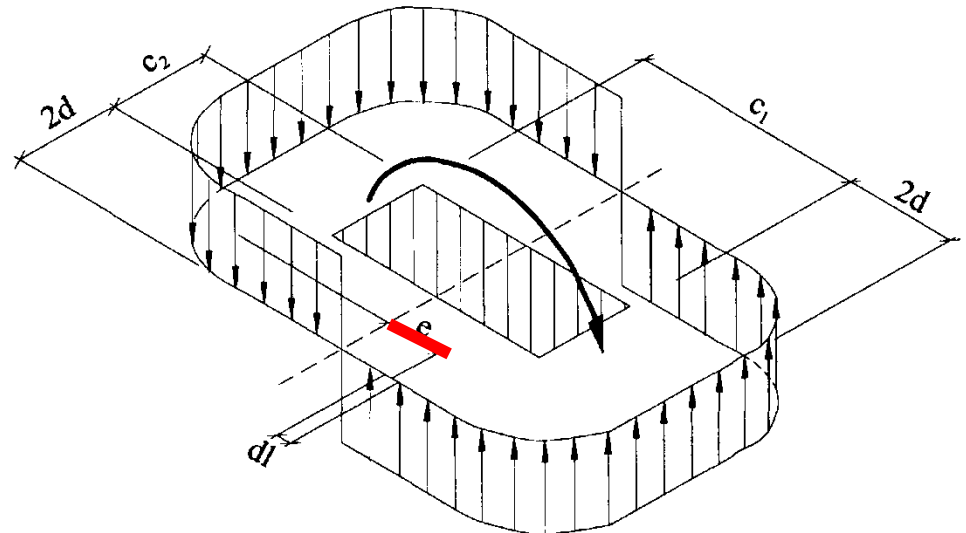


Figura 3.7 Distribuzione delle tensioni tangenziali dovute a M_{Ed}

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Nei casi in cui le **forze orizzontali vengano assorbite da altri elementi strutturali** e le **luci di campate adiacenti non differiscono più del 25%** si possono usare i seguenti valori

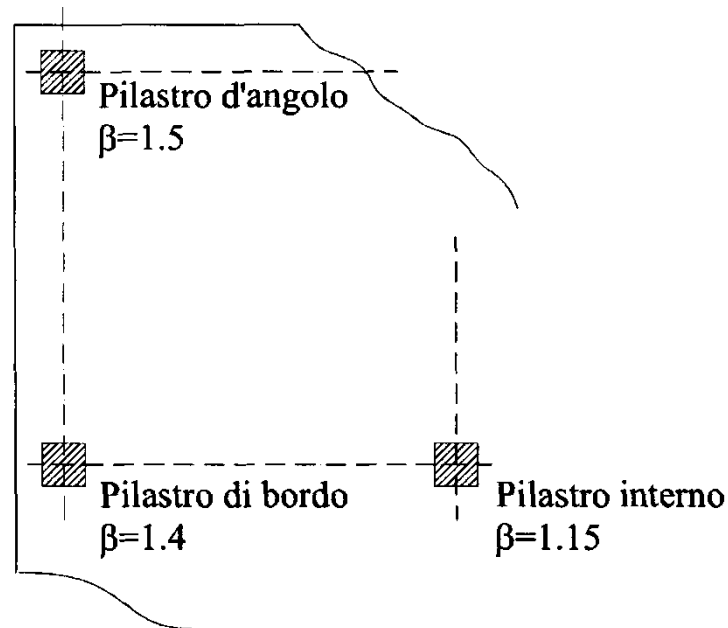


Figura 3.9 Valori approssimati di β

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Verifica a punzonamento in assenza di armature trasversali.

Verifica di punzonamento

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} \leq v_{Rd,c}$$

$$v_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + 0.15 \sigma_{cp})$$

$$\gamma_c = \begin{cases} 1.5 & \text{per carichi persistenti e transitori} \\ 1.0 & \text{per carichi eccezionali} \end{cases}$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2 \quad d = \frac{d_x + d_y}{2} \text{ [mm]} \quad d_x; d_y \text{ altezze utili nelle due direzioni}$$

$$f_{ck} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Resistenza cilindrica caratteristica del cls}$$

$$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad \text{Valore minimo della resistenza a punzonamento in assenza di tensioni normali}$$

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

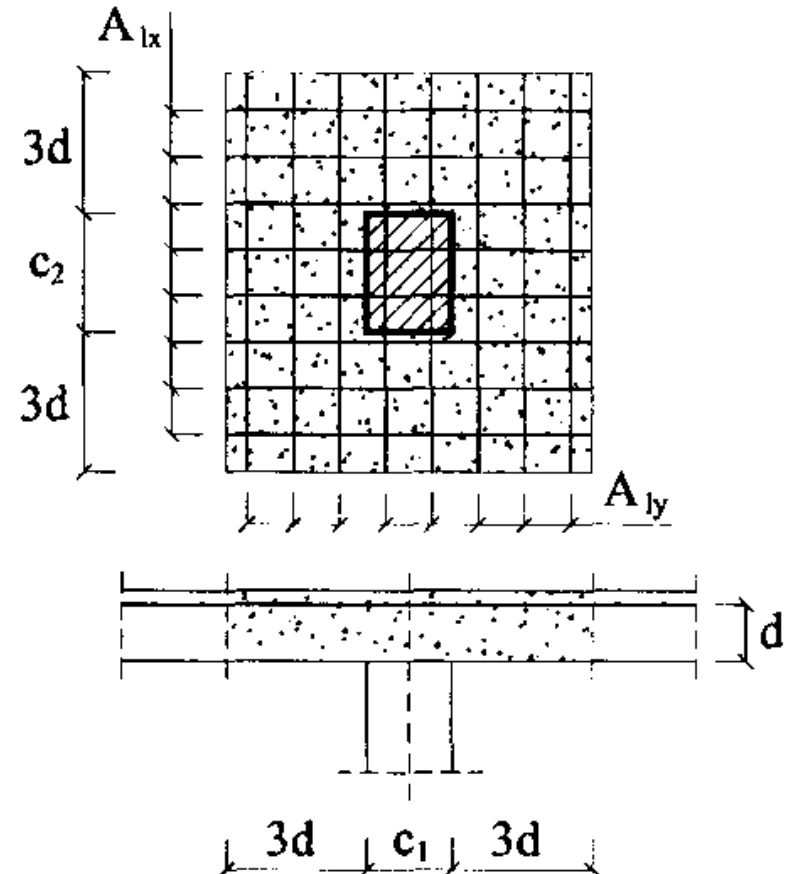
Punzonamento

Verifica a punzonamento in assenza di armature trasversali.

$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx}\rho_{ly}} \leq 0.02$ Percentuale di armatura **tesa** complessiva nelle due direzioni

$$\rho_{lx} = \frac{A_{lx}}{(c_1 + 6d)d}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{ly}}{(c_2 + 6d)d}$$



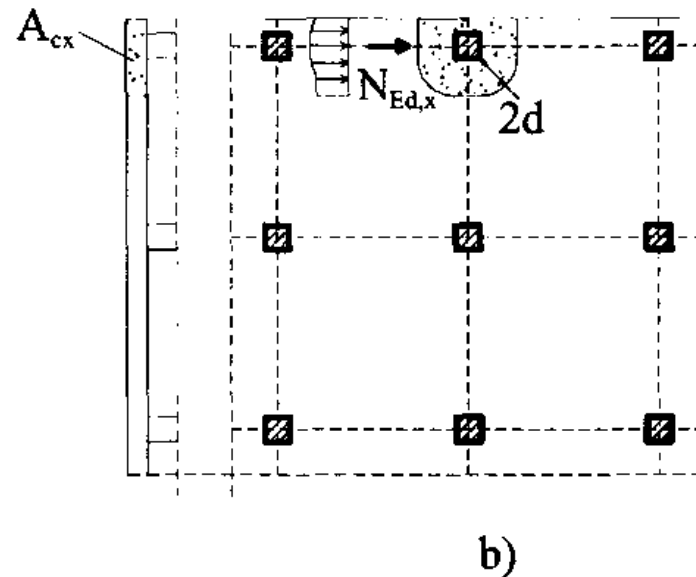
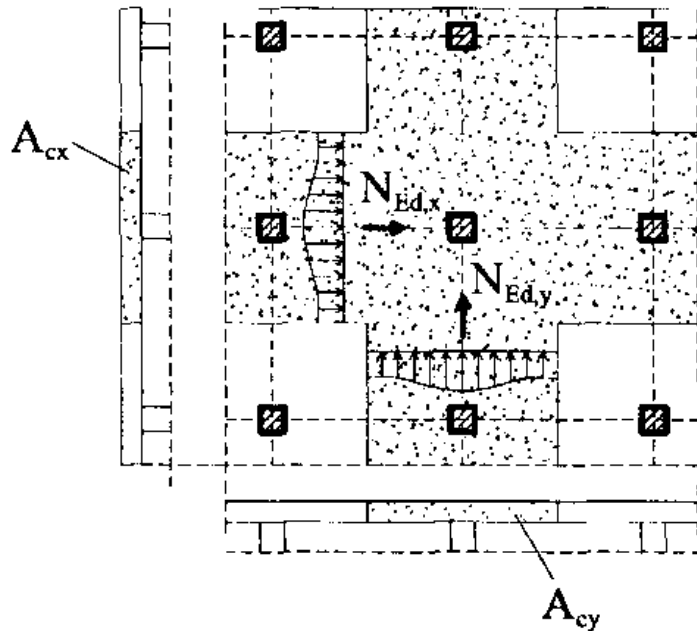
Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Verifica a punzonamento in assenza di armature trasversali.

$$\sigma_{cp} = \frac{(\sigma_{cpx} + \sigma_{cpy})}{2} \quad [N/mm^2]$$

$$\text{con } \sigma_{cpx} = \frac{N_{Ed,x}}{A_{cx}} \quad \sigma_{cpy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}}$$



Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Punzonamento

Verifica a punzonamento in presenza di armature trasversali.

Si effettua una verifica a taglio-trazione lungo il perimetro critico. Le NTC rinviano alle EC2.

La resistenza a punzonamento si può esprimere come somma di due contributi:

1. Contributo del cls, ridotto del 25% rispetto a quello della piastra priva di armatura;
2. Contributo delle armature trasversali.

$$v_{Rd,cs} = 0.75 v_{Rd,c} + 1.5 \frac{d}{s_r} A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin \alpha$$

A_{sw} Area di armatura a punzonamento disposta su una fila circonferenziale intorno al pilastro

s_r Passo radiale dell'armatura di punzonamento, cioè distanza fra due file circonferenziali consecutive

$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25d \leq f_{ywd}$ Resistenza di progetto efficace dell'armatura a punzonamento, che dipende dall'altezza utile per tenere conto che l'ancoraggio delle armature è più efficace quanto maggiore è l'altezza utile

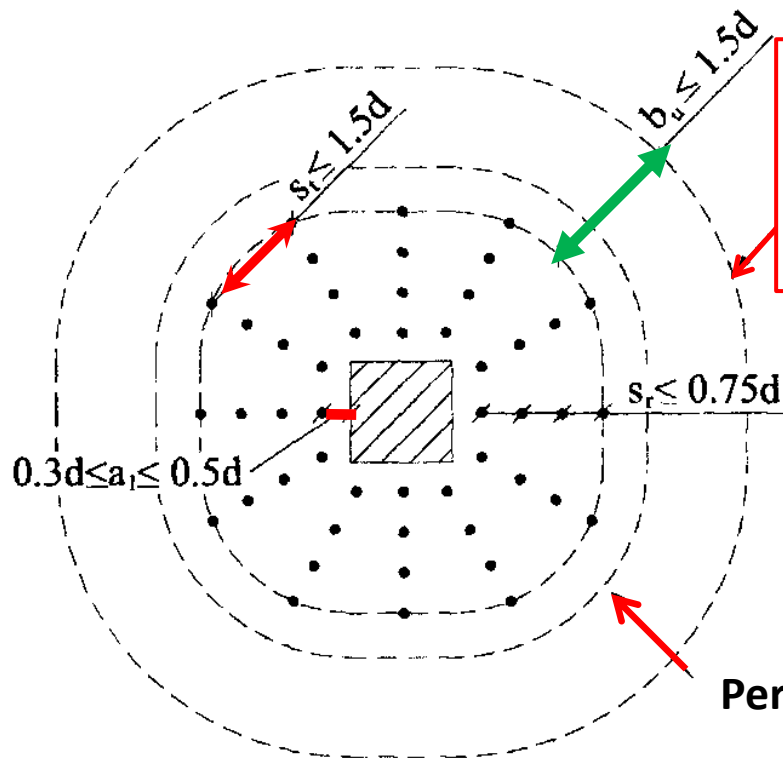
α Angolo compreso tra l'armatura a punzonamento e la superficie media della piastra

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Trave in calcestruzzo armato

Tipologie di armature trasversali a punzonamento

Cuciture verticali



Perimetro lungo il quale non è più necessaria armatura a taglio

$$\frac{V_{Ed}}{u_{out}d} = v_{Rd,c} \Rightarrow u_{out}$$

Area minima di un braccio di cucitura

$$\frac{A_{sw,min} (1.5 \sin \alpha + \cos \alpha)}{s_r s_t} \geq 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

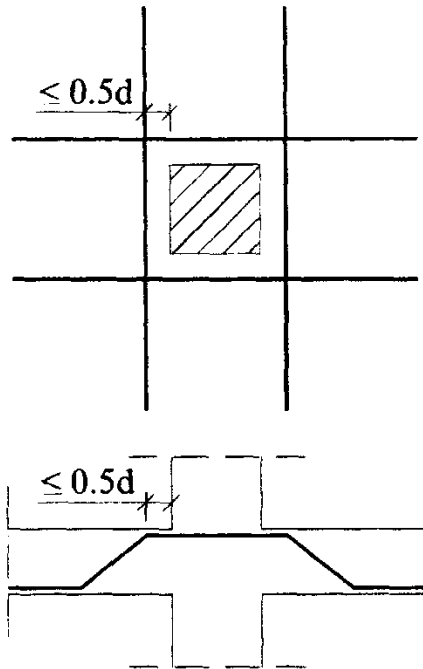
Perimetro di verifica

Stati Limite Ultimi per tensioni tangenziali

Trave in calcestruzzo armato

Tipologie di armature trasversali a punzonamento

Ferri piegati



b)

