

Guida all'uso dell'Eurocodice 2 nella progettazione strutturale

Facoltà di Ingegneria - Università degli Studi di Pisa

Pisa, 26 Gennaio 2007

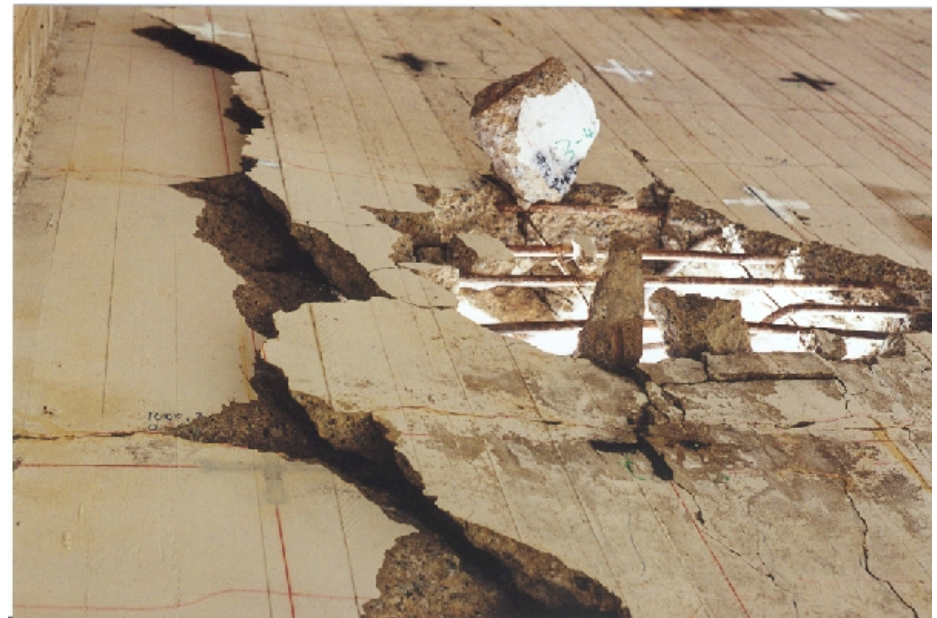
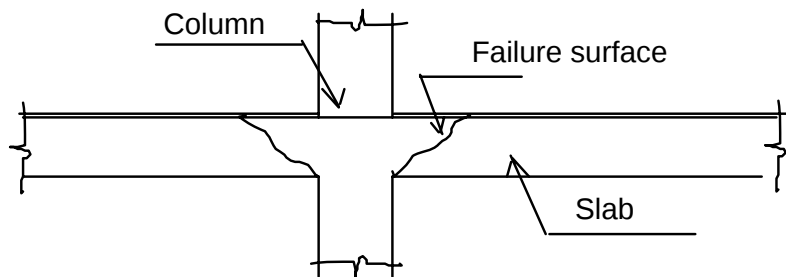
**Punzonamento
6.4 EC2**

Franco Angotti, Maurizio Orlando

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze

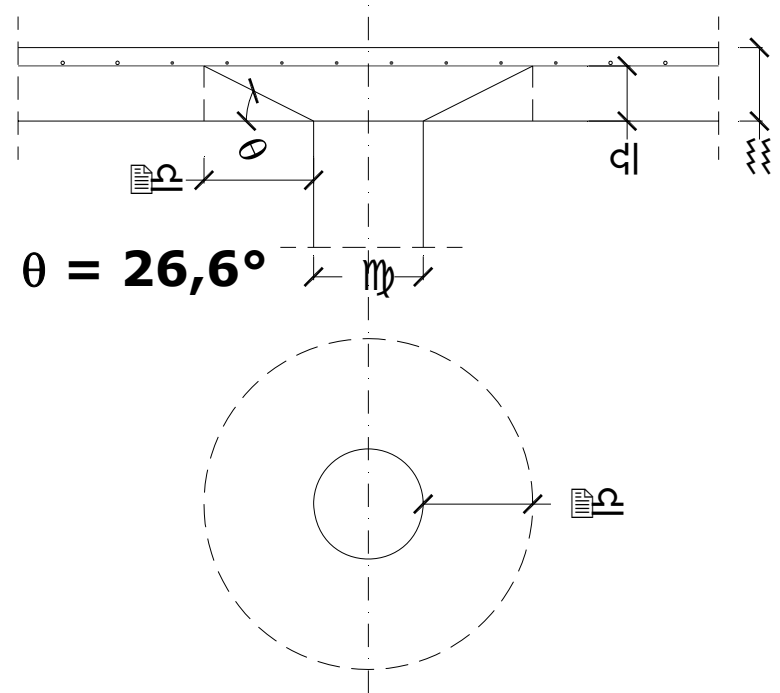
PUNZONAMENTO

- Rottura per perforazione dell'elemento strutturale dovuta allo **spessore piccolo** in rapporto all'entità della reazione localizzata e alle dimensioni dell'impronta su cui la reazione è distribuita



PUNZONAMENTO

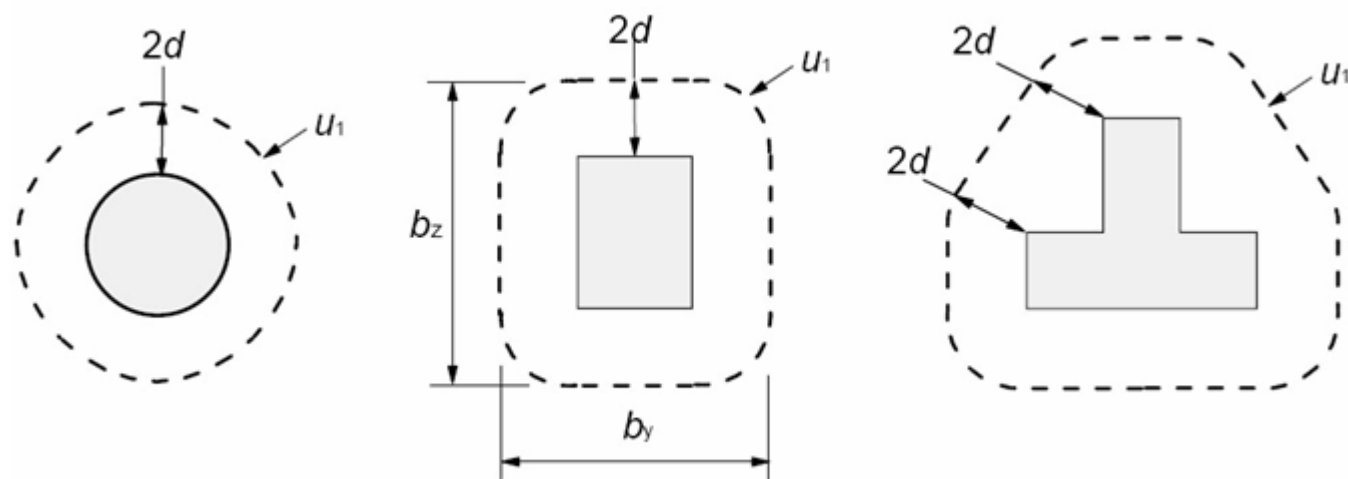
- Manca una formulazione analitica esauriente e definitiva per la trattazione del problema.
- Le formule proposte sono di natura sperimentale.
- Le Norme propongono un calcolo convenzionale da eseguirsi con riferimento ad un **perimetro critico** convenzionale lungo il quale distribuire la resistenza.



1 Espressione della resistenza a taglio-punzonamento della precedente versione di EC2 forniva risultati non conservativi per calcestruzzi di resistenza elevata.

2 L'ultima versione della EN-1992-1-1 adotta l'espressione proposta nel Model Code '90, dove la distanza del perimetro critico dal contorno del pilastro non è più pari a $1,5d$ ma a $2d$.

Per pilastri a sezione poligonale, il perimetro di verifica di base si ottiene da quello del pilastro traslando i lati di $2d$ verso l'esterno e raccordandoli con tratti di circonferenza di raggio $2d$, centrati sui vertici della sezione.



In situazioni particolari, come nel caso di **fondazioni** soggette ad elevate pressioni di contatto o a reazioni poste ad una **distanza minore di $2d$** dal perimetro della zona caricata, occorre considerare perimetri di verifica a distanza minore di $2d$,

Occorre eseguire le seguenti verifiche:

a) lungo il perimetro del pilastro o dell'area caricata:

$$V_{Ed} < V_{Rd,max} = 0,5 \nu f_{cd}$$

b) lungo il perimetro di verifica posto a distanza $2d$ dal pilastro o dall'area caricata:

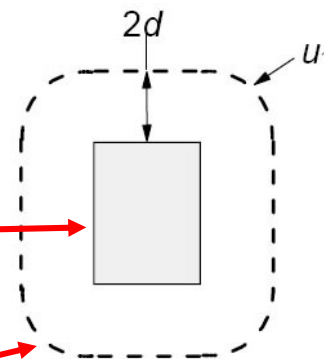
$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

($V_{Rd,c}$ è la resistenza a punzonamento di piastre e fondazioni prive di armature a taglio-punzonamento)

Se la condizione a) non è soddisfatta occorre aumentare le dimensioni del pilastro e/o lo spessore della piastra oppure inserire un capitello in testa al pilastro.

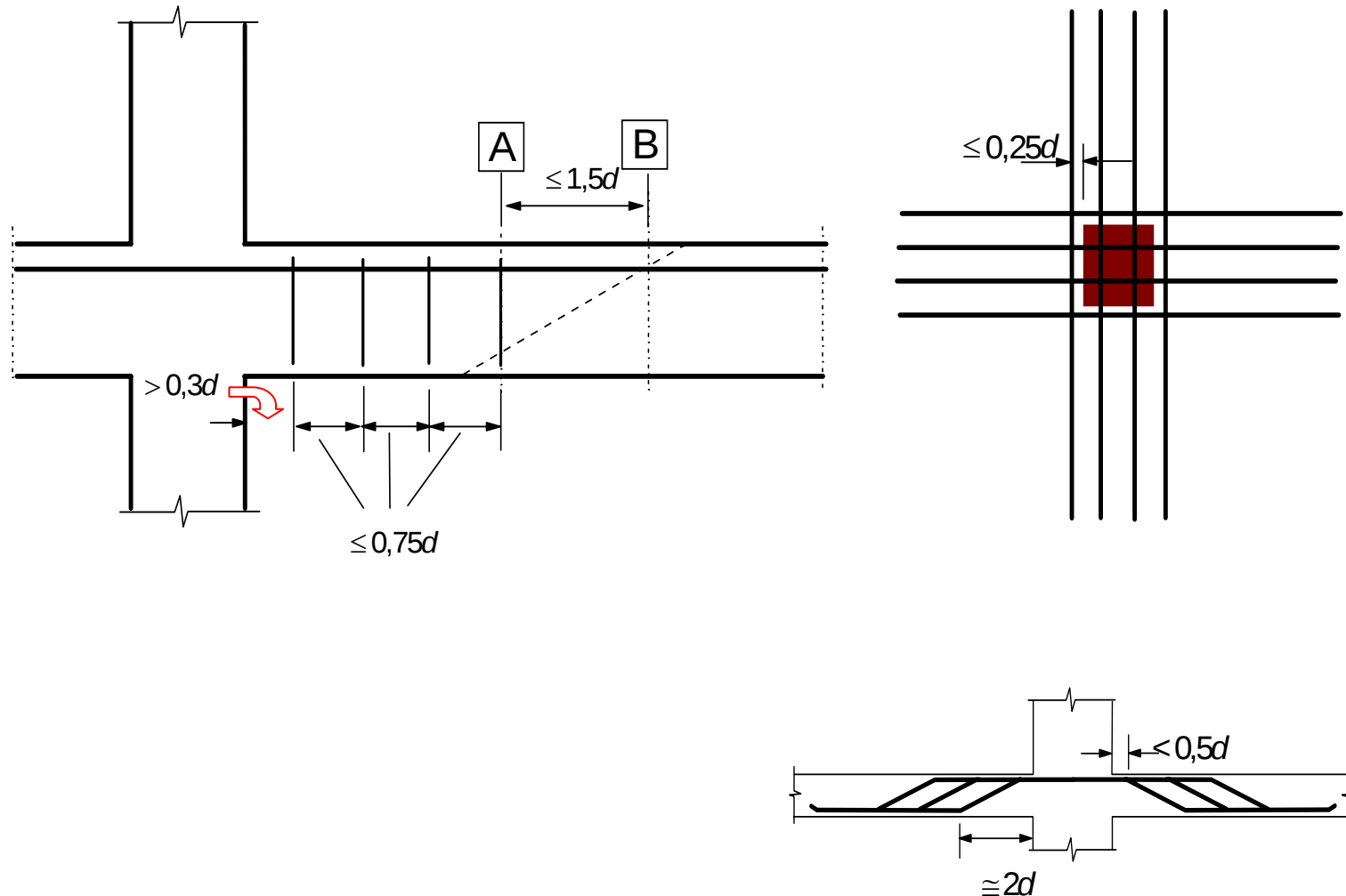
Se invece non è soddisfatta la condizione b) si possono introdurre apposite armature a taglio-punzonamento oppure si modificano le dimensioni del pilastro e/o della piastra (eventualmente si può inserire un capitello in testa al pilastro).

$$V_{Ed} < V_{Rd,cs} \quad (\text{verifica in presenza di armature a taglio-punzonamento})$$



Armature per taglio – punzonamento

- A - perimetro di verifica più esterno che richiede armatura a taglio
- B - primo perimetro di verifica entro il quale non è richiesta armatura a taglio



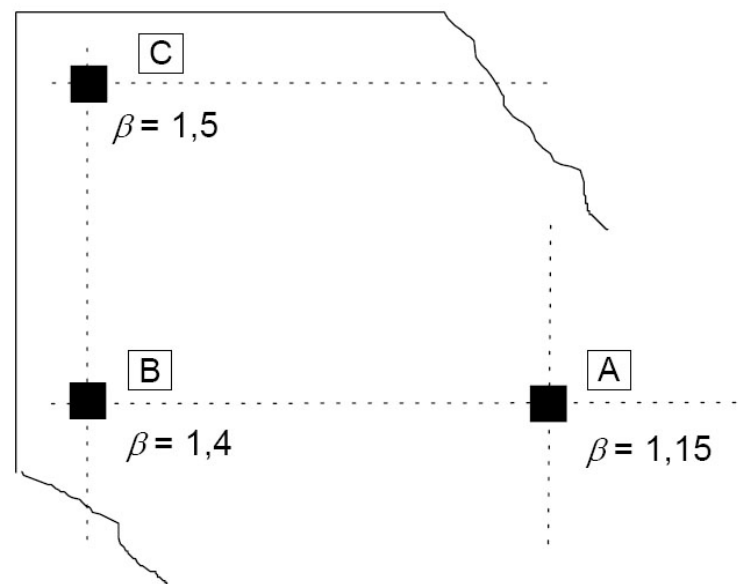
La tensione tangenziale di punzonamento si calcola con la seguente espressione, dove il coefficiente β tiene conto della eventuale eccentricità della reazione di appoggio rispetto al perimetro di verifica:

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

Valori approssimati del coefficiente β

possono utilizzarsi se:

- 1** la stabilità laterale della struttura non dipende dal funzionamento a telaio del complesso piastra – pilastri (ad es. nelle strutture controventate da setti)
- 2** piastre dove le luci adiacenti non differiscono in lunghezza più del 25 %



RESISTENZA A PUNZONAMENTO senza ARMATURE A TAGLIO (anche in fondazione)

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

0,1

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

tiene conto del tipo di carico
(carichi persistenti e
transitori o carichi
eccezionali)

resistenza cilindrica
caratteristica del calcestruzzo in
 N/mm^2

media geometrica delle
percentuali di armatura nelle due
direzioni della piastra

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} \leq 0,02$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

È la stessa formula usata nelle verifiche a taglio delle travi

RESISTENZA A PUNZONAMENTO DI PIASTRE O FONDAZIONI DI PILASTRI CON ARMATURE A TAGLIO-PUNZONAMENTO

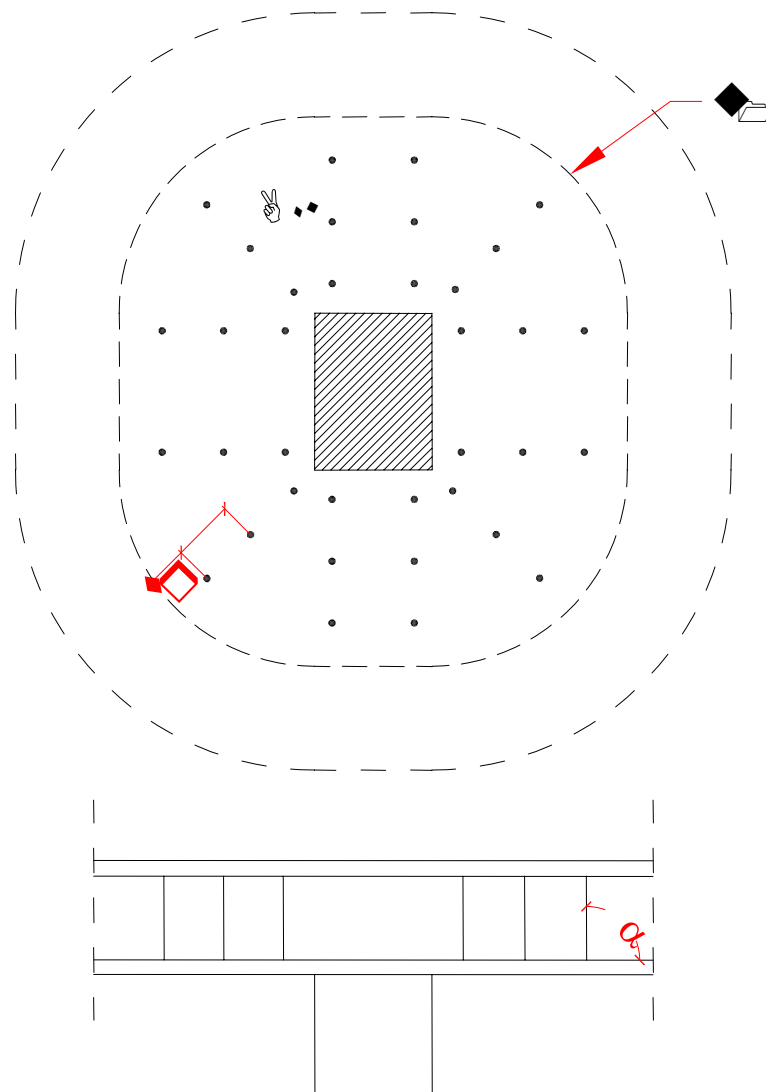
$$V_{Rd,cs} = 0,75 V_{Rd,c} + 1,5 \left(d/s_r \right) A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin \alpha$$

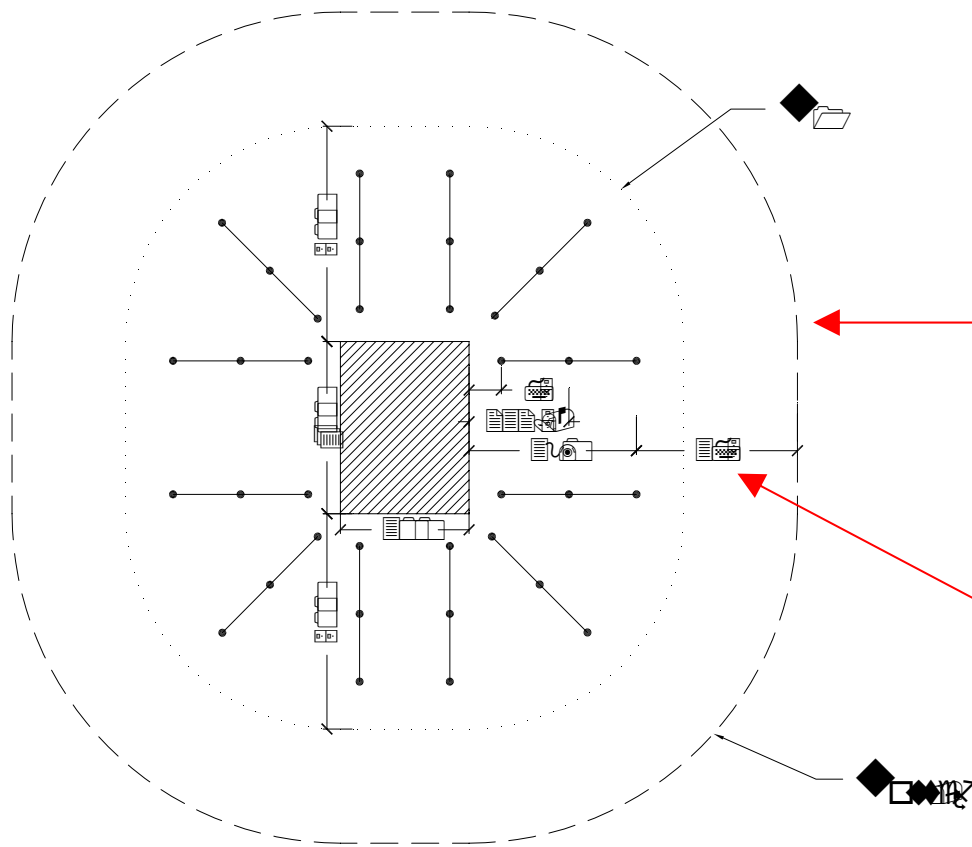
s_r è il passo radiale dell'armatura di punzonamento

area di armatura a punzonamento disposta su un perimetro intorno al pilastro

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_{ywd} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

angolo tra armatura a punzonamento e piano della piastra





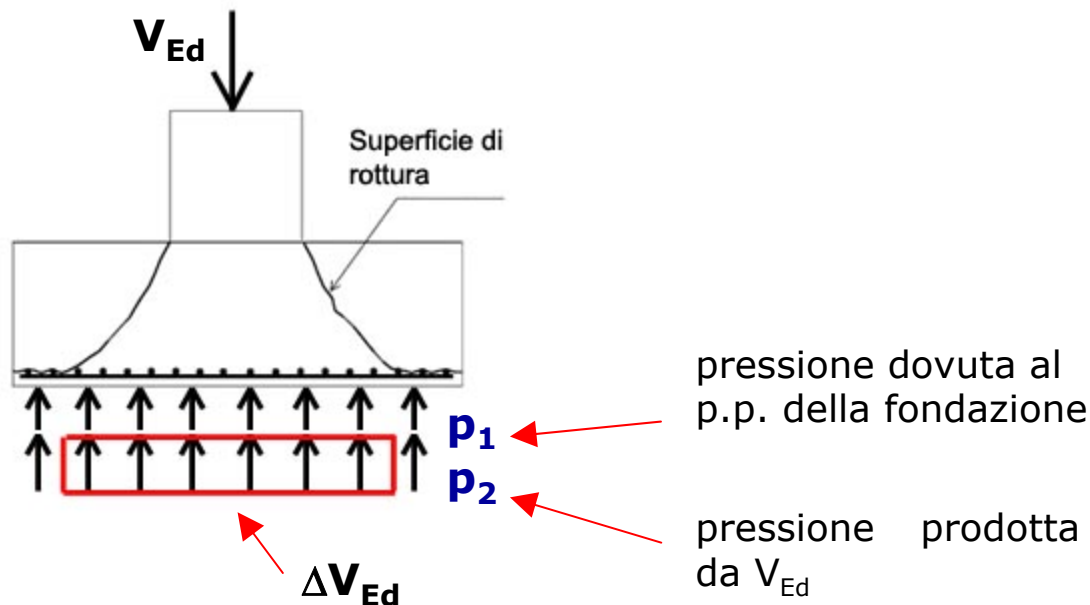
Il perimetro di verifica lungo il quale l'armatura a punzonamento non è più richiesta va calcolato con la seguente espressione:

$$u_{\text{out,ef}} = \frac{\beta V_{\text{Ed}}}{V_{\text{Rd,c}} d}$$

ed il perimetro più esterno delle armature di punzonamento non deve trovarsi ad una distanza maggiore di $1,5 d$ da $u_{\text{out,ef}}$.

Nelle **fondazioni** il perimetro di verifica non è noto a priori.

La presenza della pressione verticale di contatto del terreno modifica l'inclinazione del cono di punzonamento, che è molto maggiore che nelle piastre.



Il **perimetro critico** si individua per tentativi come il **perimetro per il quale è massimo il rapporto tra la tensione di punzonamento e la resistenza unitaria al punzonamento** (difatti al variare del perimetro di verifica varia sia la tensione di punzonamento sia la resistenza).

Il perimetro critico deve comunque distare non più di $2d$ dal contorno del pilastro.

Per sforzo normale centrato, la forza tagliante è pari a: $V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$

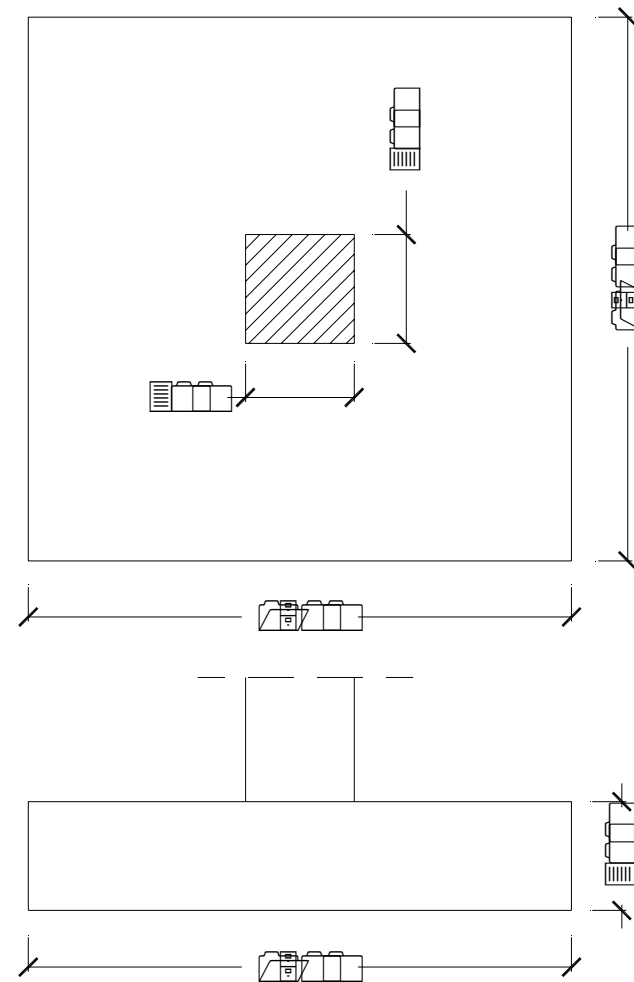
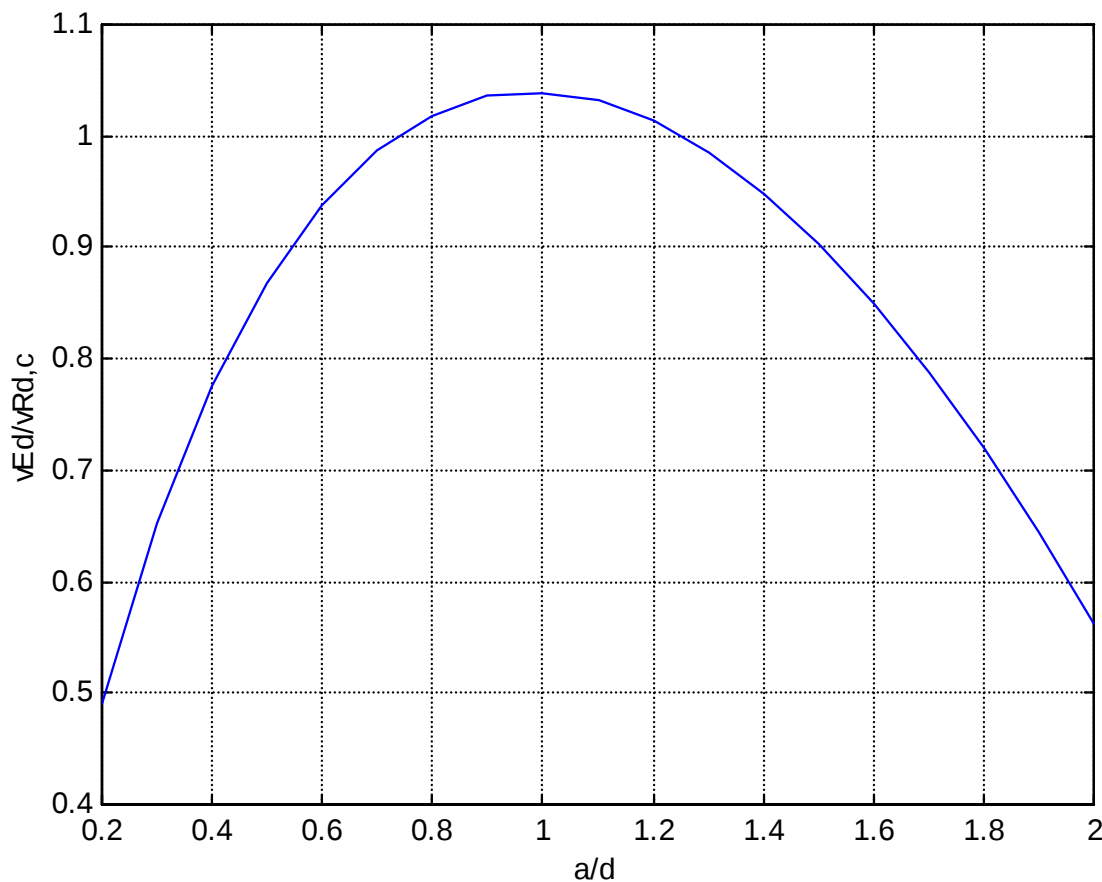
Esempio 9.7. Plinto di fondazione di pilastro a sezione quadrata

Materiali: calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$; acciaio B450C $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

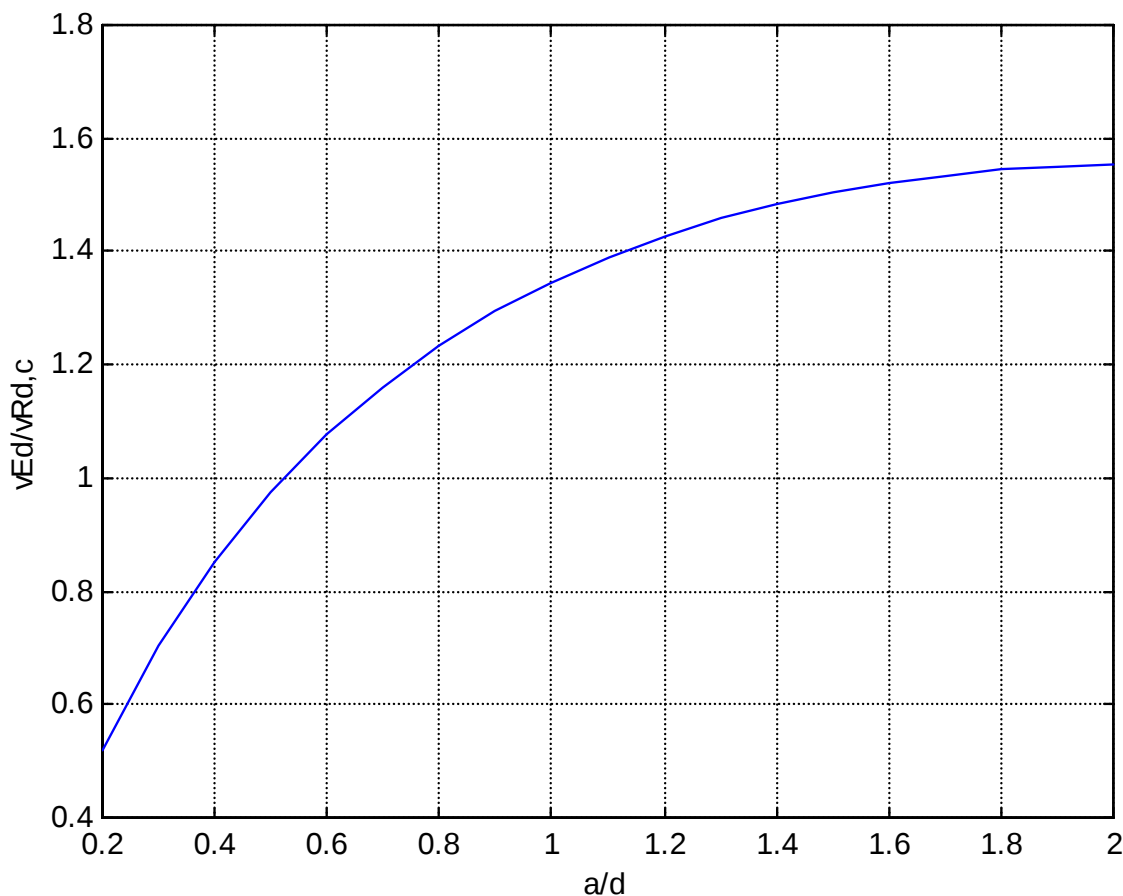
Armature: barre $\phi 16 / 200 \text{ mm}$; copriferro $c = 25 \text{ mm}$

Sollecitazioni di calcolo allo S.L.U.: $V_{Ed} = 1000 \text{ kN}$

La capacità portante del terreno di fondazione è superiore a $0,5 \text{ N/mm}^2$.



Se si considerano gli stessi dati di progetto e **si aumentano solo le dimensioni in pianta del plinto**, si ottiene il diagramma mostrato in figura, dove la distanza critica è questa volta coincidente con $2d$, poiché l'andamento della curva è sempre crescente.



La differenza di andamento delle due curve suggerisce di riportare in un diagramma la variazione della distanza critica al variare del rapporto c/d **per diversi valori del rapporto l/c (l = larghezza plinto).**

Per un assegnato valore di c/d la distanza critica cresce al crescere di l/c .

Tutte le curve presentano un tratto iniziale crescente e poi un tratto costante; il valore di c/d che segna il passaggio dall'uno all'altro tratto di curva è tanto maggiore quanto minore è il rapporto l/c .

