

# Progettazione strutturale 2M A

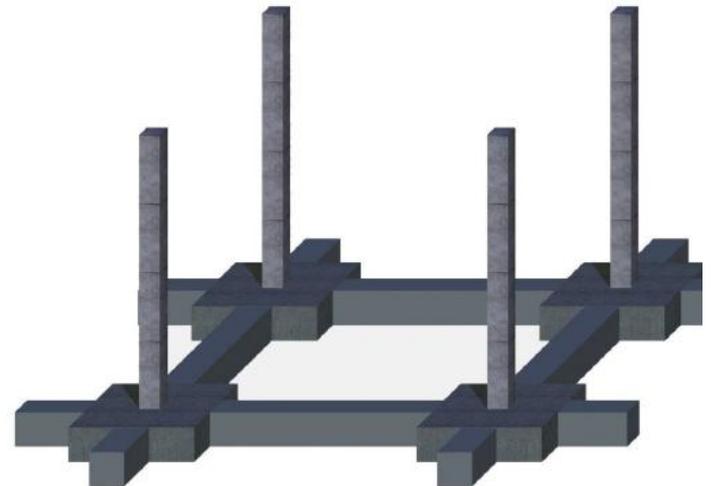
---

## Progetto di una struttura in c.a. : plinti in zona sismica

Ing. Davide Lavorato  
davide.lavorato@uniroma3.it

# Progetto struttura: fondazioni

- ❑ Tipi di fondazioni (plinti, travi rovesce, platee, pali, ...)
- ❑ Normativa NTC 2008 (fondazioni)
- ❑ Pre-dimensionamento plinti alti
- ❑ Progetto e verifica plinti alti con sforzo normale centrato:
  - area di base
  - punzonamento
  - armature
  - bielle di calcestruzzo
- ❑ Particolari costruttivi
- ❑ Collegamento dei plinti (zona sismica)



# Progetto struttura: normativa NTC

## ❑ 7.1 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

Le strutture di fondazione devono resistere agli effetti risultanti della risposta del terreno e delle strutture sovrastanti, senza spostamenti permanenti incompatibili con lo stato limite di riferimento. Al riguardo, deve essere valutata la risposta sismica e la stabilità del sito secondo quanto indicato nel 7.11.5.

## ❑ 7.2.1 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

Il sistema di fondazione deve essere dotato di elevata rigidità estensionale nel piano orizzontale e di adeguata rigidità flessionale. Deve essere adottata un'unica tipologia di fondazione per una data struttura in elevazione, a meno che questa non consista di unità indipendenti. In particolare, nella stessa struttura deve essere evitato l'uso contestuale di fondazioni su pali o miste con fondazioni superficiali, a meno che uno studio specifico non ne dimostri l'accettabilità o che si tratti di un ponte.

..... Gli elementi strutturali delle fondazioni, che devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante (v. 7.2.5), devono avere comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di esse gravante.

# Progetto struttura: normativa NTC

## 7.2.5 REQUISITI STRUTTURALI DEGLI ELEMENTI DI FONDAZIONE

Le azioni trasmesse in fondazione derivano dall'analisi del comportamento dell'intera opera, in genere condotta esaminando la sola struttura in elevazione alla quale sono applicate le azioni statiche e sismiche.

Per le strutture progettate sia per CD "A" sia per CD "B" il dimensionamento delle strutture di fondazione e la verifica di sicurezza del complesso fondazione-terreno devono essere eseguiti assumendo come azioni in fondazione le resistenze degli elementi strutturali soprastanti. Più precisamente, la forza assiale negli elementi strutturali verticali derivante dalla combinazione delle azioni di cui al § 3.2.4 deve essere associata al concomitante valore resistente del momento flettente e del taglio; si richiede tuttavia che tali azioni risultino non maggiori di quelle trasferite dagli elementi soprastanti, amplificate con un  $\gamma_{Rd}$  pari a 1,1 in CD "B" e 1,3 in CD "A", e comunque non maggiori di quelle derivanti da una analisi elastica della struttura in elevazione eseguita con un fattore di struttura  $q$  pari a 1.

## 3.2.4 COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON LE ALTRE AZIONI

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni già fornita in § 2.5.3 e che qui si riporta:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \Psi_{2j} Q_{kj} \quad (3.2.16)$$

# Progetto struttura: normativa NTC

## □ 7.2.5 REQUISITI STRUTTURALI DEGLI ELEMENTI DI FONDAZIONE

Le fondazioni superficiali devono essere progettate per rimanere in campo elastico. Non sono quindi necessarie armature specifiche per ottenere un comportamento duttile.

Le travi di fondazione in c.a. devono avere armature longitudinali in percentuale non inferiore allo 0,2 %, sia inferiormente che superiormente, per l'intera lunghezza.

I pali in calcestruzzo devono essere armati per tutta la lunghezza, con un'area non inferiore allo 0,3% di quella del calcestruzzo.

Nei casi in cui gli effetti dell'interazione cinematica terreno-struttura siano considerati rilevanti, sui pali deve essere assunta la condizione di sollecitazione più sfavorevole estesa a tutta la lunghezza del palo.

L'impiego di pali inclinati è da evitare. Nei casi in cui sia necessario farne uso, i pali devono essere dimensionati per sopportare con adeguato margine sicurezza le sollecitazioni che derivano dall'analisi del complesso fondazione-terreno in condizioni sismiche.

È da evitare la formazione di cerniere plastiche nei pali di fondazione. Qualora non fosse possibile escluderne la formazione, le corrispondenti sezioni devono essere progettate per un comportamento duttile e opportunamente confinate. L'armatura perimetrale di confinamento dei pali di fondazione, di diametro non inferiore a 8 mm, deve essere costituita da spirale continua per tutti i tratti interessati da potenziali cerniere plastiche. In tali tratti, assunti di dimensione almeno pari a 3 volte il diametro, e comunque per uno sviluppo, a partire dalla testa del palo, di almeno 10 diametri, l'armatura longitudinale deve avere area non inferiore all'1% di quella del calcestruzzo.

# Progetto struttura: osservazioni

---

- ❑ Valutare la presenza di linee di servizio (elettriche, telefoniche, ...) esistenti.
- ❑ Il piano di posa delle fondazioni è posto al di sotto della coltre di terreno vegetale e dello strato interessato dal gelo e/o da significative variazioni di umidità stagionali.
- ❑ Puntellare le pareti di terreni instabili durante lo scavo del terreno per raggiungere il piano di posa
- ❑ Al di sotto delle fondazioni occorre prevedere uno strato di calcestruzzo non armato (magrone) spesso circa 10 cm (per livellare il terreno ed evitare il contatto diretto fondazione – terreno)

# Progetto struttura: tipologie di plinti

□ Consideriamo due tipologie di plinti (alti o bassi)

□ In base alla distanza  $v$  (valore massimo fra le due direzioni  $x$  e  $y$ )

▪ plinto rigido o alto:

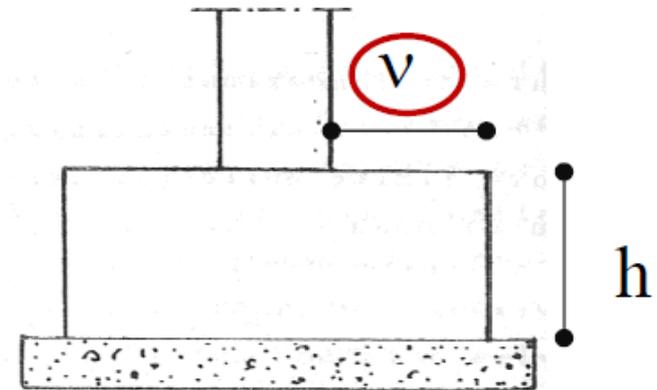
- modello a traliccio
- scavi più profondi

▪ plinto flessibile o basso:

- modello a mensola
- scavi meno profondi

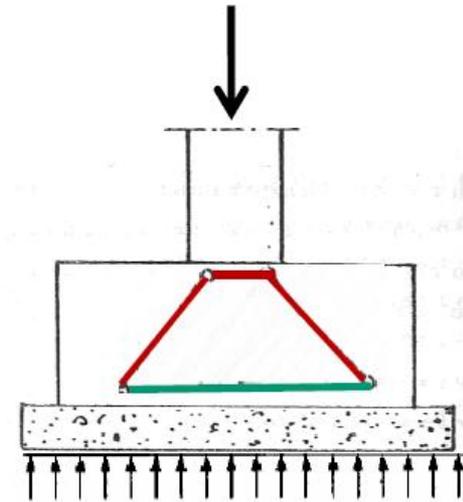
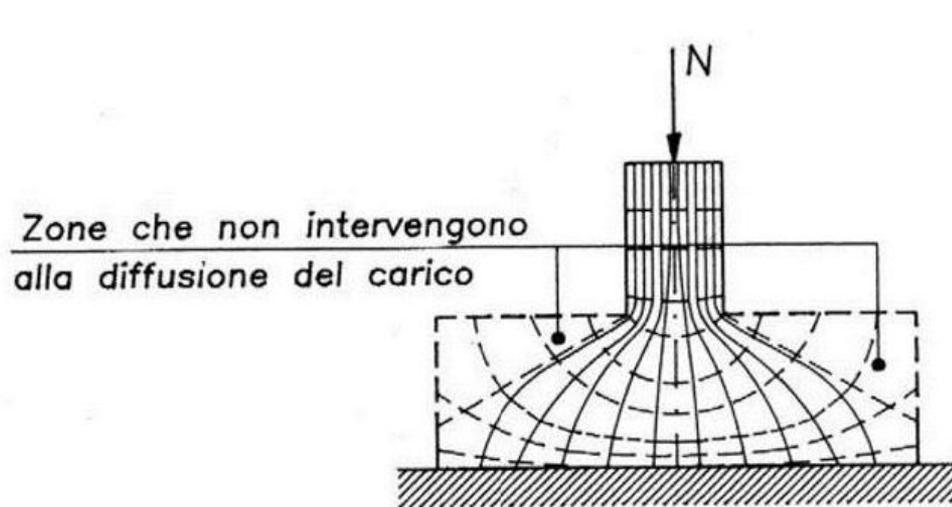
$$v \leq 2h$$

$$v > 2h$$



# Progetto struttura: plinti alti (rigidi)

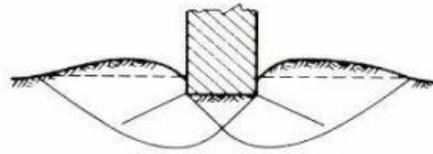
- Modello a Traliccio: tre puntoni (rossi) e un tirante (verde) nella parte inferiore (armature longitudinali)



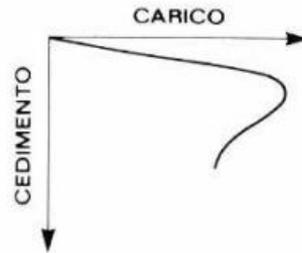
- Progetto il plinto alto definendo:
  - l'area di base
  - l'altezza del plinto
  - le armature

# Progetto struttura: area di base del plinto

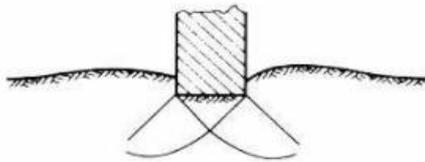
□ valutiamo un carico limite del terreno ( $q_t$ ) la sua capacità portante (teoria e normativa vista a lezione)



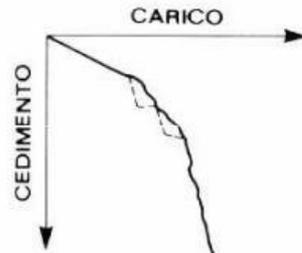
a) ROTTURA GENERALE



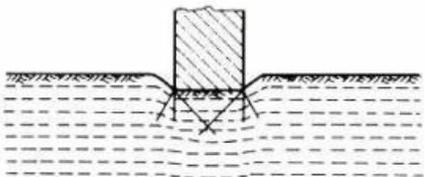
**Legame sforzi - deformazioni  
rigido- perfettamente plastico**



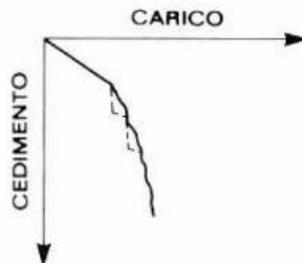
b) ROTTURA LOCALE



**Legame sforzi - deformazioni  
intermedio**



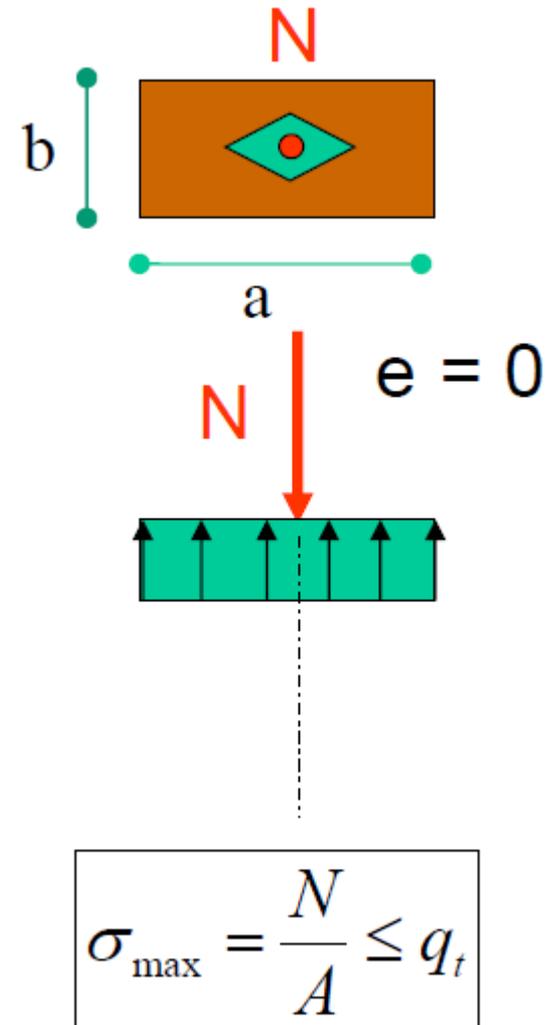
c) PUNZONAMENTO



**Legame sforzi - deformazioni  
elasto - plastico - incrudente**

# Progetto struttura: area di base del plinto

- ❑ Valutare il carico limite del terreno « $q_t$ »
  - ❑ Determinare il carico assiale « $N$ » agente sul plinto (N centrato più sfavorevole)
  - ❑ Calcolare l'area di base del plinto  $A=N/q_t$
- NB: In questa applicazione progettuale NON consideriamo tutte le sollecitazioni agenti sul plinto (N,  $M_x$  e  $M_y$ ) ma solo N
  - NB: nel progetto completo dei plinti occorre valutare gli effetti di tutte le sollecitazioni e progettare i plinti in modo opportuno secondo normativa



# Progetto struttura: punzonamento

---

- ❑ Determinata l'area di base  $A$  del plinto definiamo le sue due dimensioni  $a$  e  $b$  (plinti rettangolari)
- ❑ Si assume una altezza « $d$ » del plinto
- ❑ Nella nostra applicazione l'altezza « $d$ » deve essere scelta in modo opportuno al fine di progettare un plinto alto.
- ❑ Definita una « $d$ » opportuna si procede con la verifica a punzonamento (in genere più gravosa per plinti bassi)
- ❑ La verifica a punzonamento del plinto è svolta valutando il carico di punzonamento

# Progetto struttura: normativa NTC

## 4.1.2.1.3.4 *Verifica al punzonamento di lastre soggette a carichi concentrati*

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.

Nel caso in cui si disponga una apposita armatura, l'intero sforzo allo stato limite ultimo dovrà essere affidato all'armatura.

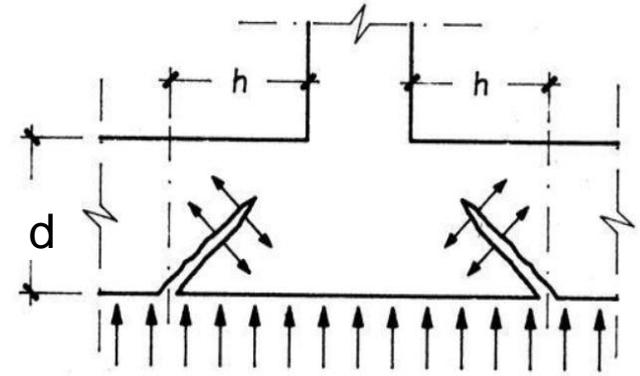
Nel caso di piastre di fondazione si adotteranno opportuni adattamenti del modello sopra citato.

NB: nella nostra applicazione progettuale possiamo utilizzare le indicazioni dell'EC2

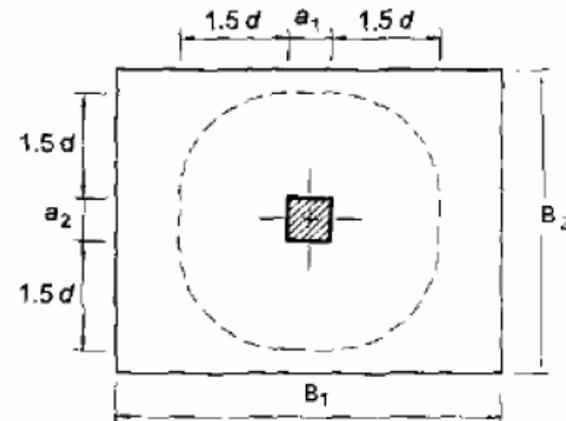
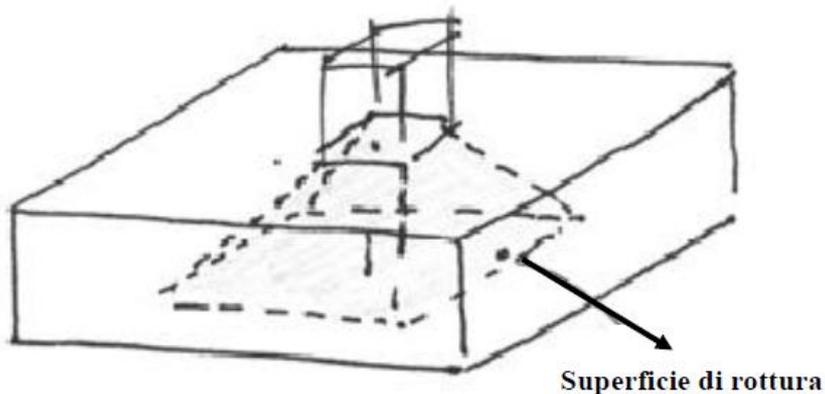
# Progetto struttura: punzonamento

□ Il carico di punzonamento è funzione:

- della geometria del plinto
- del carico  $N$  agente sul plinto



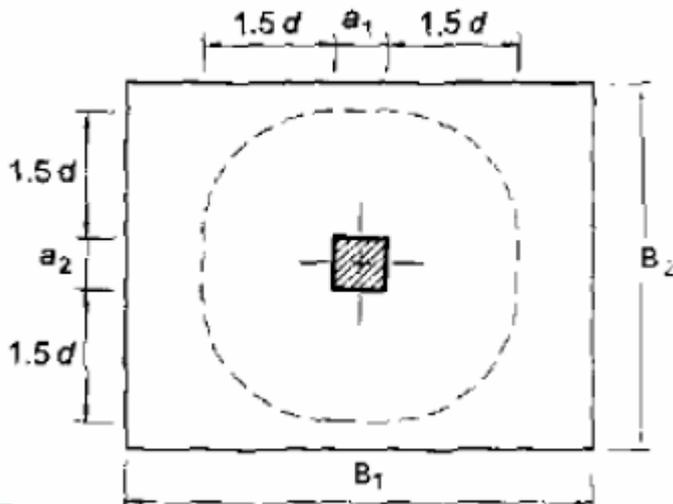
□ Le geometrie del plinto e della sezione del pilastro sopra di esso consentono di identificare una superficie di rottura per punzonamento



# Progetto struttura: punzonamento

- Il carico di punzonamento ( $V_{pd}$ ) è dato dalla risultante della reazione del terreno agente sull'area **esterna** al perimetro critico (linea tratteggiata approssimata con rettangolo).
- Occorre verificare che il carico di punzonamento ( $V_{pd}$ ) sia minore della resistenza a punzonamento ( $V_{pu}$ )

$$\beta V_{pd} \leq V_{pu}$$



$$V_{pd} = \sigma_{td} [B_1 \cdot B_2 - A_p]$$

$$A_p = (a_1 + 3d)(a_2 + 3d)$$

$\sigma_{td}$  = carico trasferito al terreno

$\beta = 1$  per carico centrato e  $1.15$  per carico eccentrico

# Progetto struttura: punzonamento

## □ Resistenza a punzonamento ( $V_{pu}$ ):

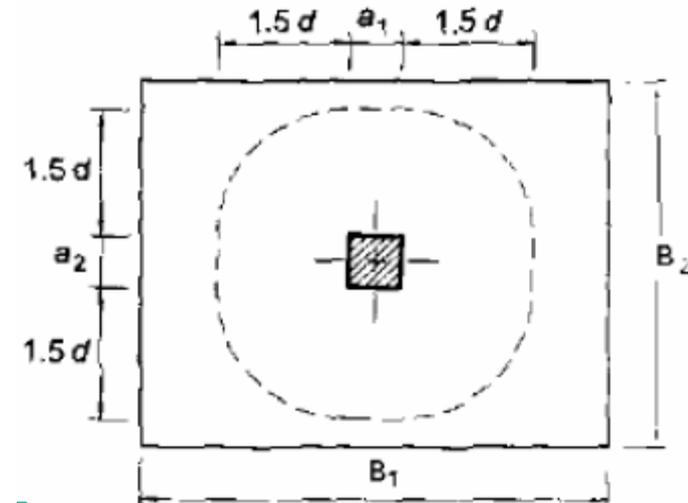
$$V_{pu} = S_p \cdot \tau_{rd} \cdot K \cdot (1.2 + 40 \rho_l)$$

$$S_p = 2((a_1 + 3d) + (a_2 + 3d)) d$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y}$$

$$0.0015 \leq \rho_l \leq 0.015$$

$\rho_l$  = percentuale di armatura (media geometrica delle percentuali nelle due direzioni)



$f_{ck}$	25	30	35	40	45	50
$\tau_{rd}$	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	0.48

$K=1$  se  $d \geq 0.6$  m

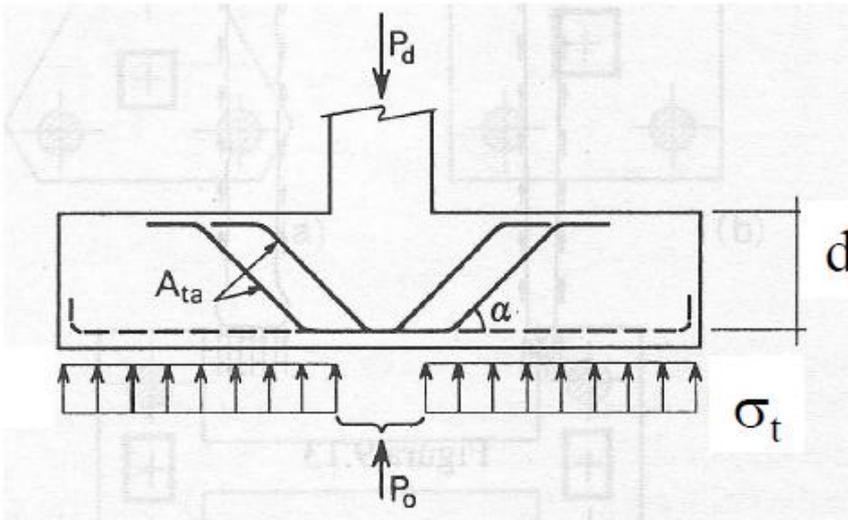
$K=(1.6-d)$  se  $d < 0.6$  m

# Progetto struttura: note su altezza plinto

- ❑ Alternativa per il pre-dimensionamento del plinto (punzonamento).  
Nota l'area di base si ricava d ponendo:

- $K=1$
- La percentuale di armatura uguale a quella minima,  $\rho_l=0.0015$
- $V_{pd}=V_{pu}$

- ❑ Se il plinto non risultasse verificato a punzonamento: incremento d o dispongo una armatura specifica:



$$V_{pd} = 2(A_{ta} + A_{tb})f_{yk} \sin \alpha$$

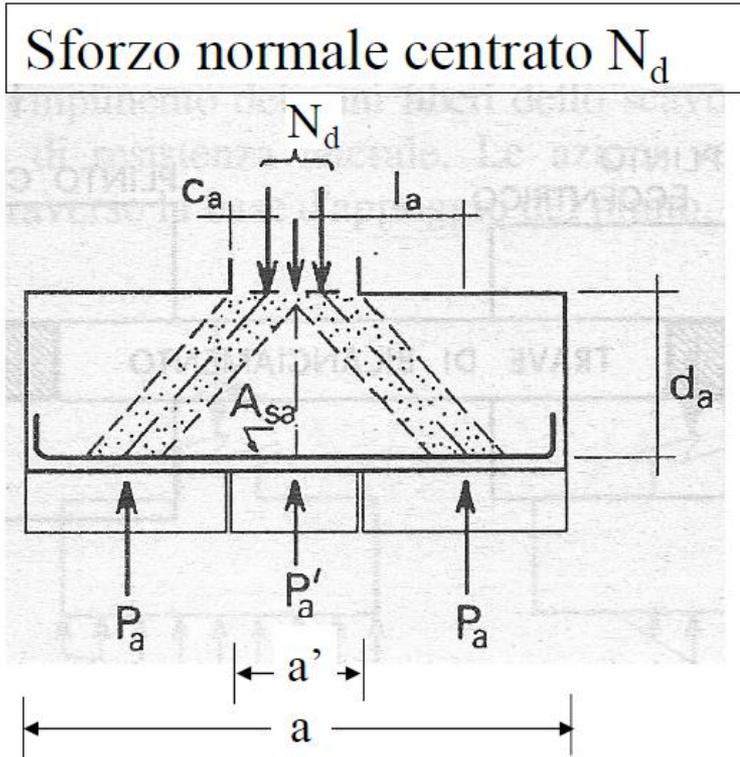
$A_{ta}$ =armatura disposta lungo il lato di dimensione "a"

$A_{tb}$ =armatura disposta lungo il lato di dimensione "b"

- ❑ Sono armature aggiunte a quelle necessarie per la verifica di resistenza del plinto secondo il modello a traliccio (slide seguenti)

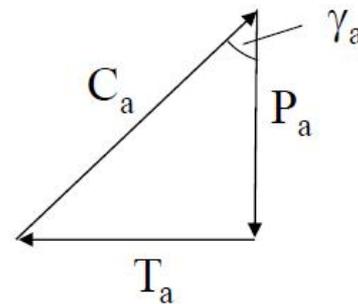
# Progetto struttura: armatura longitudinale

- Dimensionamento dell'armatura (plinto rigido)
- Modello resistente puntone e tirante (lato a)



$$c_a = \min\left(0.2d_a, \frac{a'}{4}\right) \quad l_a = \frac{a-a'}{4} + c_a$$

$$P'_a = \frac{a'}{a} N_d \quad 2P_a = \frac{a-a'}{a} N_d$$



$$\operatorname{tg} \gamma_a = \frac{l_a}{d_a}$$

$$T_a = P_a \operatorname{tg} \gamma_a = P_a \frac{l_a}{d_a}$$

da cui

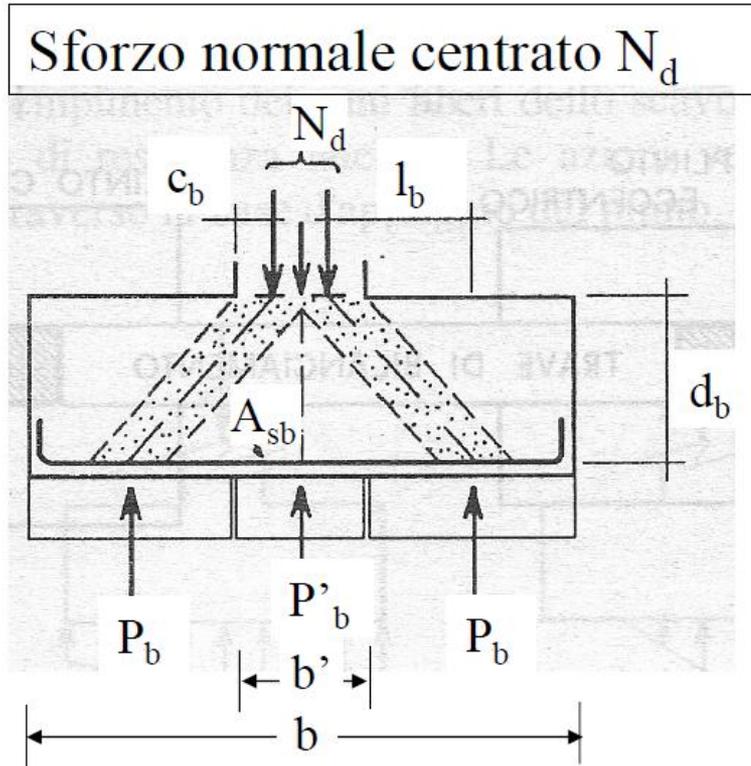
$$A_{sa} f_{yd} \geq P_a \frac{l_a}{d_a}$$

→

$$A_{sa}$$

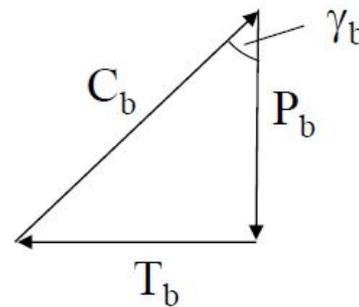
# Progetto struttura: armatura longitudinale

- Modello resistente puntone e tirante (lato b)



$$c_b = \min\left(0.2d_b, \frac{b'}{4}\right) \quad l_b = \frac{b-b'}{4} + c_b$$

$$P'_b = \frac{b'}{b} N_d \quad 2P_b = \frac{b-b'}{b} N_d$$



$$\operatorname{tg} \gamma_b = \frac{l_b}{d_b}$$

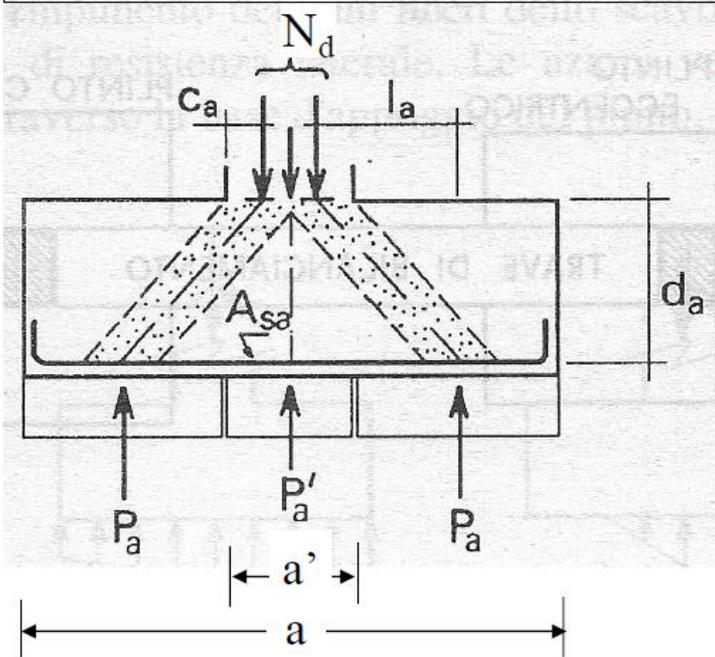
$$T_b = P_b \operatorname{tg} \gamma_b = P_b \frac{l_b}{d_b}$$

da cui  $A_{sb} f_{yd} \geq P_b \frac{l_b}{d_b} \longrightarrow A_{sb}$

# Progetto struttura: verifica bielle cls

## Verifica puntoni di calcestruzzo (cls)

Sforzo normale centrato  $N_d$



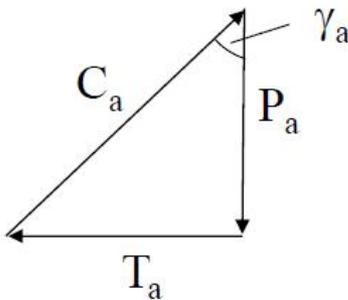
$$T_a = P_a \operatorname{tg} \gamma_a$$

Equilibrio forze verticali:  $N_d = 2P_a + P'_a$

Verifica cls

$$C_a = \sqrt{P_a^2 + T_a^2} = P_a \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma_a} = \frac{N_d - P'_a}{2} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma_a}$$

da cui

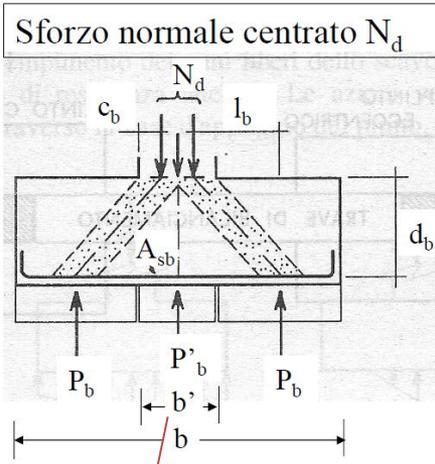


$$N_{Rd} = P'_a + \frac{2C_{au}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma_a}}$$

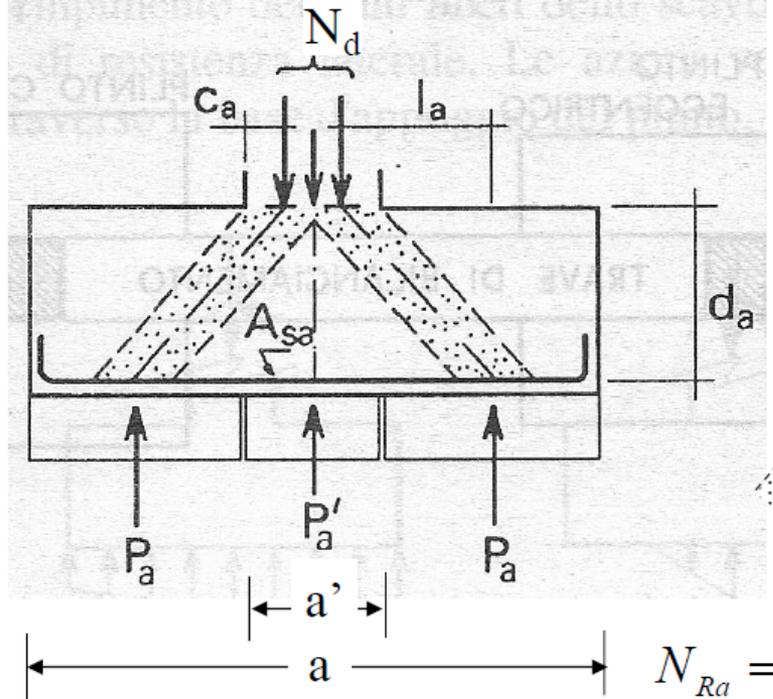
$$C_{au} = f_{cd} A_c =$$

# Progetto struttura: verifica bielle

## Verifica bielle calcestruzzo



Sforzo normale centrato  $N_d$

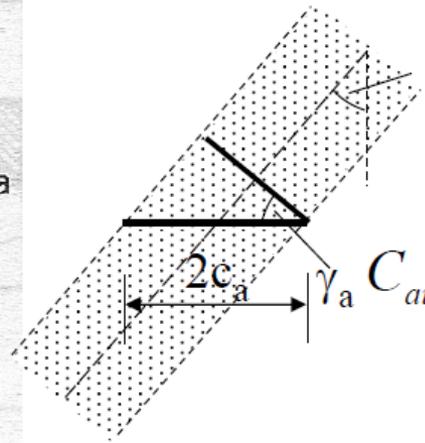


Verifica cls

$$C_a = \sqrt{P_a^2 + T_a^2} = P_a \sqrt{1 + \text{tg}^2 \gamma_a} = \frac{N_d - P'_a}{2} \sqrt{1 + \text{tg}^2 \gamma_a}$$

da cui

$$N_{Ra} = P'_a + \frac{2C_{au}}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \gamma_a}}$$



$$C_{au} = f_{cd} A_c = f_{cd} b' 2c_a \cos \gamma_a$$

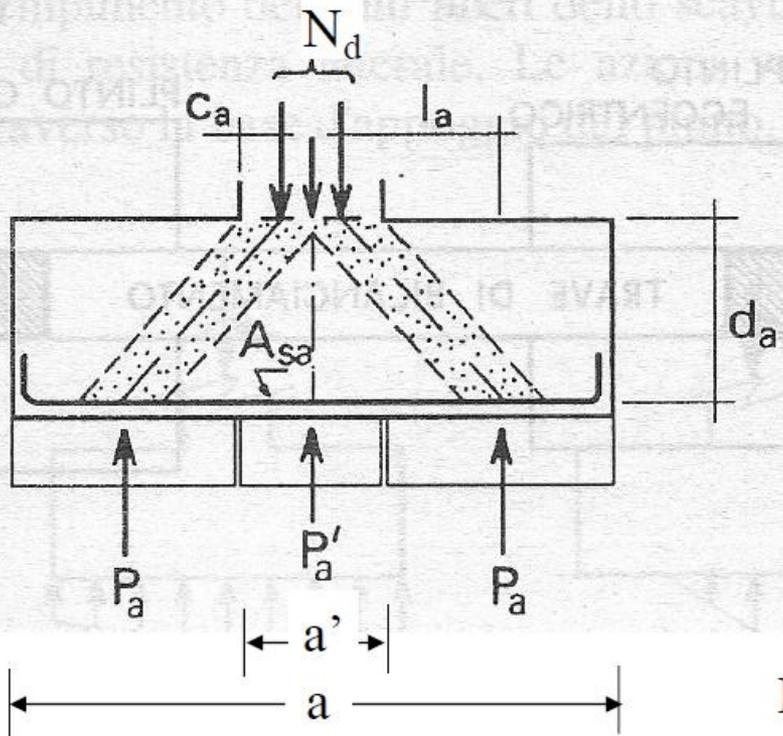
$$= f_{cd} b' \frac{2c_a}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \gamma_a}}$$

$$N_{Ra} = P'_a + 4 f_{cd} b' c_a \frac{1}{1 + \text{tg}^2 \gamma_a} = P'_a + 0.8 f_{cd} b' d_a \frac{1}{1 + \text{tg}^2 \gamma_a}$$

# Progetto struttura: verifica bielle cls

## □ Verifica bielle calcestruzzo

Sforzo normale centrato  $N_d$



Verifica cls

$$N_{Ra} = P'_a + 0.8 f_{cd} b' d_a \frac{1}{1 + \text{tg}^2 \gamma_a}$$

Contributo nell'altra direzione:

$$N_{Rb} = P'_b + 0.8 f_{cd} a' d_b \frac{1}{1 + \text{tg}^2 \gamma_b}$$

da cui

$$N_R = P' + 0.8 f_{cd} \left( \frac{b' d_a}{1 + \text{tg}^2 \gamma_a} + \frac{a' d_b}{1 + \text{tg}^2 \gamma_b} \right)$$

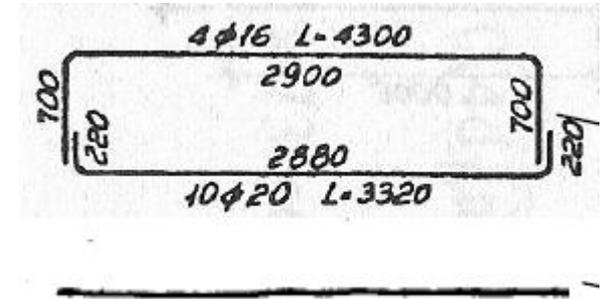
$$P' \cong \frac{a'b'}{ab} N_d$$

$$N_R \geq N_d \rightarrow \text{OK}$$

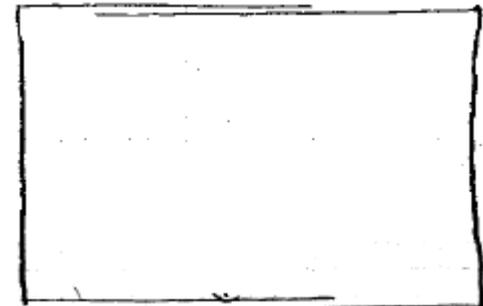
# Progetto struttura: dettagli armature plinti

□ Le gabbie di armatura per i plinti alti:

- Armature sopra e sotto diffuse (es..)

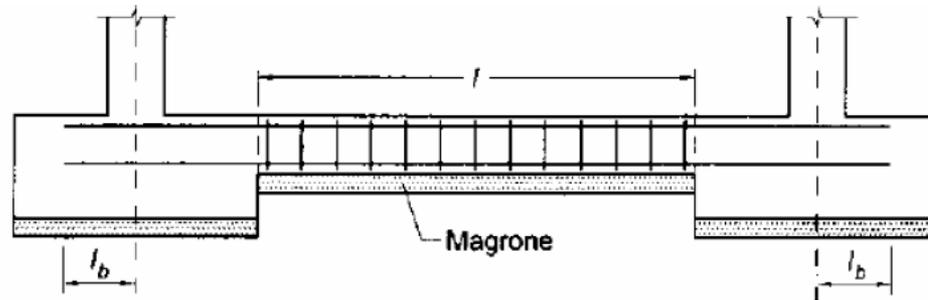


- «Staffoni» orizzontali



# Progetto struttura: travi di collegamento

- ❑ I plinti in zona sismica vanno opportunamente collegati (problema dei moti relativi tra plinti)



- ❑ Altezza sezione trave ( $h$ ) tale da evitare instabilità a compressione ( $h > l/20$ )
- ❑ Armatura longitudinale per resistere al massimo sforzo di trazione atteso
- ❑ Armatura trasversale in staffe secondo minimi di norma NTC
- ❑ Ricordare calcolo armature opportune per contrastare ritiro e fessurazione (ambiente aggressivo, contatto con il terreno)
- ❑ Magrone anche sotto la trave di collegamento

# Progetto struttura: normativa NTC

## 7.2.5.1 Collegamenti orizzontali tra fondazioni

Si deve tenere conto della presenza di spostamenti relativi del terreno di fondazione sul piano orizzontale, calcolati come specificato nel § 3.2.5.2, e dei possibili effetti da essi indotti nella sovrastruttura.

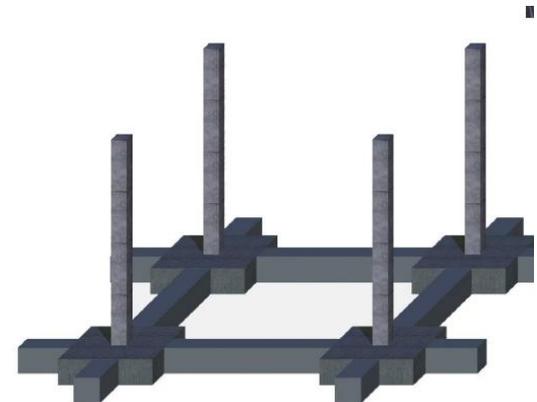
Il requisito si ritiene soddisfatto se le strutture di fondazione sono collegate tra loro da un reticolo di travi, o da una piastra dimensionata in modo adeguato, in grado di assorbire le forze assiali conseguenti. In assenza di valutazioni più accurate, si possono conservativamente assumere le seguenti azioni assiali:

$\pm 0,3 N_{sd} a_{max} / g$  per il profilo stratigrafico di tipo B

$\pm 0,4 N_{sd} a_{max} / g$  per il profilo stratigrafico di tipo C

$\pm 0,6 N_{sd} a_{max} / g$  per il profilo stratigrafico di tipo D

dove  $N_{sd}$  è il valore medio delle forze verticali agenti sugli elementi collegati, e  $a_{max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito.



# Progetto struttura: normativa NTC

→ In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:  $a_{\max} = a_g \cdot S$  in cui  $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2, e  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido.

Ai fini dell'applicazione delle precedenti relazioni, il profilo stratigrafico di tipo E è assimilato a quello di tipo C se i terreni posti sul substrato di riferimento sono mediamente addensati (terreni a grana grossa) o mediamente consistenti (terreni a grana fina) e a quello di tipo D se i terreni posti su substrato di riferimento sono scarsamente addensati (terreni a grana grossa) o scarsamente consistenti (terreni a grana fina).

→ Il collegamento tra le strutture di fondazione non è necessario per profili stratigrafici di tipo A e per siti ricadenti in zona 4.

Travi o piastre di piano possono essere assimilate a elementi di collegamento se realizzate ad una distanza minore o uguale a 1 m dall'intradosso degli elementi di fondazione superficiali o dalla testa dei pali.