PROGETTO DI EDIFICI ANTISISMICI IN CEMENTO ARMATO

Ascoli Piceno, 17-18 maggio 2019

08c – Armature

Docente del corso

AURELIO GHERSI

Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI ASCOLI PICENO

Ulteriori aspetti:

nodi, impalcati, fondazioni

Ulteriori passi

- Verifica ed armatura dei nodi

  (è opportuno armarli bene, ma le regole applicative della norma portano spesso a valori eccessivi, non realizzabili)

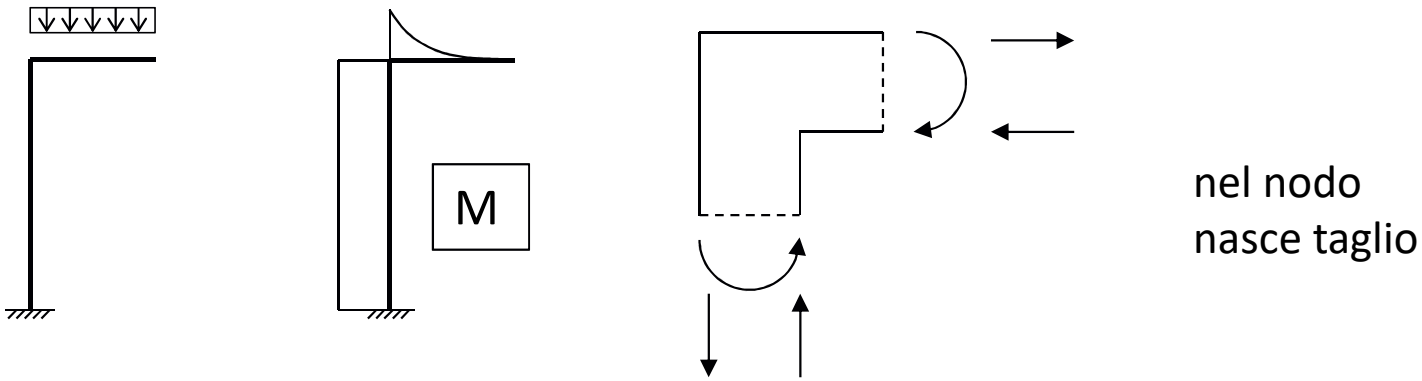
- Verifica ed armatura degli impalcati

- Verifica ed armatura degli elementi di fondazione

Verificare il nodo

perché?

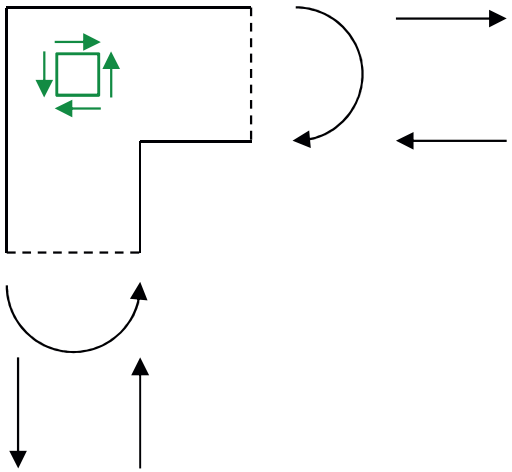
- Nelle strutture intelaiate in acciaio, indipendentemente dal sisma, è prassi comune verificare a taglio il nodo (l'anima della colonna)
  - Esempio
- Nelle strutture in cemento armato in assenza di sisma non c'è questa abitudine … ma il problema c'è comunque
  - Esempio: pilastro di una pensilina, dal quale esce a sbalzo una trave che sostiene la copertura



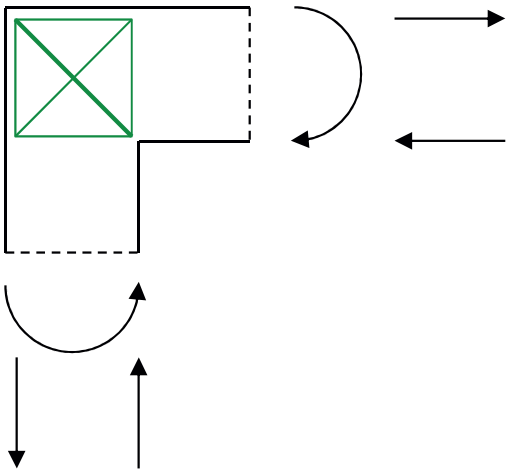
Verificare il nodo

con quale modello?

- Pilastro di una pensilina, dal quale esce a sbalzo una trave che sostiene la copertura



stato tensionale



tirante-puntone

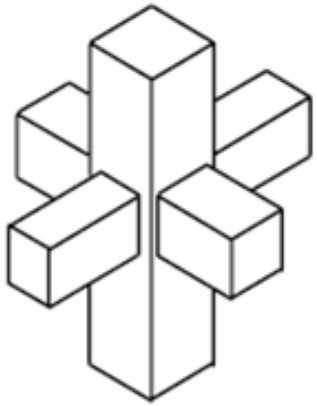
Confinamento dei nodi

Nodi interamente confinati

- In ognuna delle 4 facce si innestano travi
- Le travi sono sovrapposte ai pilastri per almeno i ¾ della larghezza del pilastro (e tra loro per i ¾ dell'altezza)

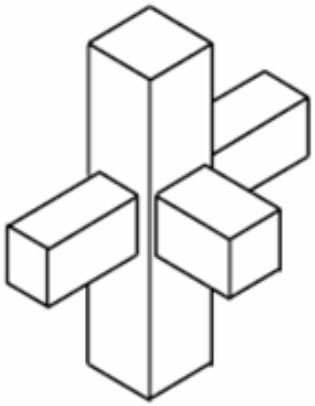
Per i nodi interamente confinati non occorrono verifiche

Scomparso in NTC18

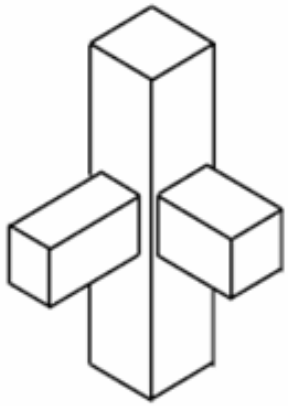


Nodo interno, interamente confinato

Nodi non interamente confinati

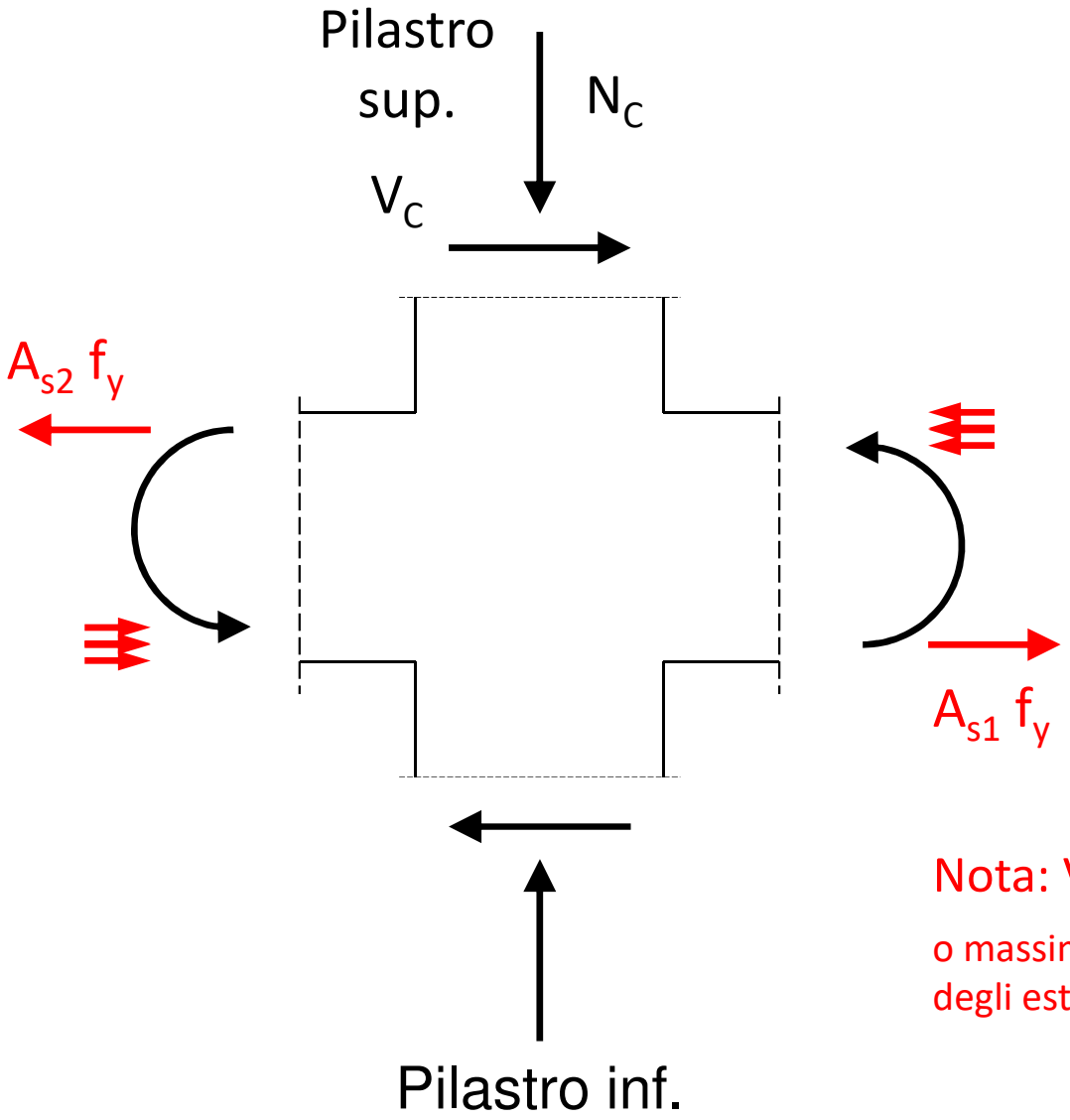


Nodo laterale



Nodo d'angolo

Azione tagliante nel nodo



Taglio sollecitante il nodo

$$V_j = (A_{s1} + A_{s2})\ f_y - V_C$$

La norma aggiunge il coefficiente γ_{Rd}

$$V_j = \gamma_{Rd}\ (A_{s1} + A_{s2})\ f_{yd} - V_C$$

Nota: V_C = taglio fornito dal calcolo

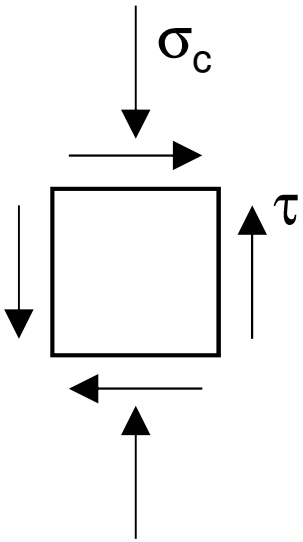
o massimo taglio corrispondente alla plasticizzazione degli estremi del pilastro

NTC 08, punto 7.4.4.3.1

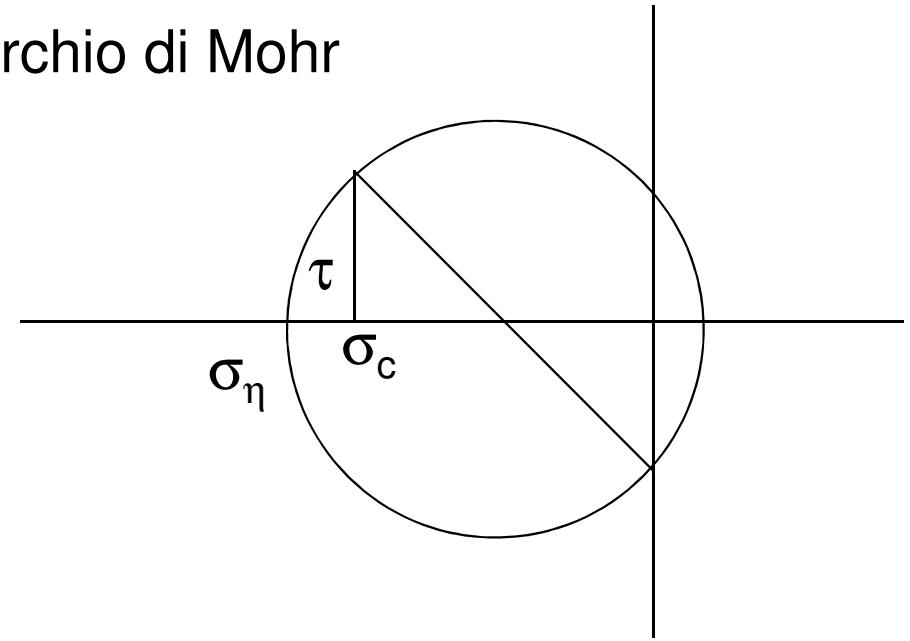
NTC18, punto 7.4.4.3.1

Verifica del nodo

compressione - in assenza di specifiche armature



Cerchio di Mohr



$$\sigma_c = \frac{N}{b\,h}$$

$$\tau = \frac{V_j}{b\,h}$$

$$\sigma_\eta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2 + \tau^2} + \left(\frac{\sigma_c}{2}\right) \leq \eta\, f_c$$

compressione

Verifica del nodo

compressione - in assenza di specifiche armature

$$\sigma_\eta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2 + \tau^2} + \left(\frac{\sigma_c}{2}\right) \leq \eta\, f_c$$ compressione

con semplici passaggi

$$\tau \leq \eta\, f_c \sqrt{1 - \frac{\sigma_c}{\eta\, f_c}}$$

ovvero

NTC, punto 7.4.4.3.1

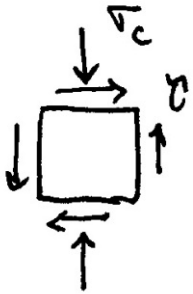
$$V_j \leq \eta\, f_c\, b\, h \sqrt{1 - \frac{\nu}{\eta}}$$

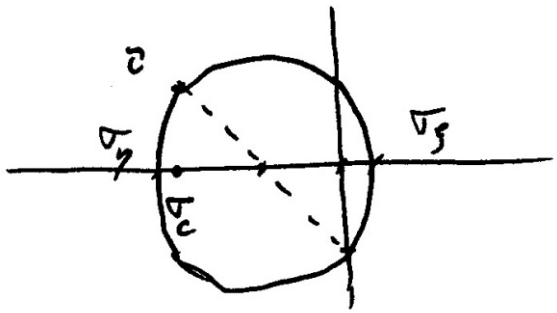
$$\nu = \frac{N}{b\, h\, f_c} \qquad \eta = \alpha_j \left(1 - \frac{f_c}{250}\right)$$

$\alpha_j = 0.60$ nodo interno

$\alpha_j = 0.48$ nodo esterno

Nodo senza armature





$$\sigma_\eta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2 + \tau^2} + \frac{\sigma_c}{2}$$

compressione

$$\sigma_\eta \le \eta f_c \qquad \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2 + \tau^2} + \frac{\sigma}{2} \le \eta f_c$$

$$\left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2 + \tau^2 \le \left(\eta f_c - \frac{\sigma}{2}\right)^2$$

$$\cancel{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2} + \tau^2 \le (\eta f_c)^2 + \cancel{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2} - \eta f_c\, \sigma \qquad \tau^2 \le (\eta f_c)^2 \left(1 - \frac{\sigma}{\eta f_c}\right)$$

$$\tau \le \eta f_c \sqrt{1 - \frac{\sigma}{\eta f_c}}$$

Verifica del nodo

compressione - in assenza di specifiche armature

- Nota: nell'espressione

$$V_{jbd} \leq \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{\nu_d}{\eta}}$$

b_j è la larghezza del nodo

la minore tra :

a) la maggiore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave;

b) la minore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave, ambedue aumentate di metà altezza della sezione del pilastro

h_{jc} è distanza tra le giaciture più esterne delle armature del pilastro

Per la Circolare si può usare $h_{c,max}$ massima dimensione del pilastro

Verifica del nodo

compressione - in assenza di specifiche armature

- Nota: nell'espressione

$$V_{jbd} \leq \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{\nu_d}{\eta}}$$

b_j è la

la mi

a) la a

sezio

b) la ezione

della e del

pilas

h_{jc} è di re del

pila

Per l astro

Concettualmente:

- Se si usa la resistenza del calcestruzzo non confinato si fa affidamento sulla sezione nominale
- Se si usa la resistenza del calcestruzzo confinato si deve ridurre la sezione per tener conto della possibile espulsione del ricoprimento

Verifica del nodo

compressione - in assenza di specifiche armature

- Si noti inoltre che l'espressione

$$V_{jbd} \leq \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{\nu_d}{\eta}}$$

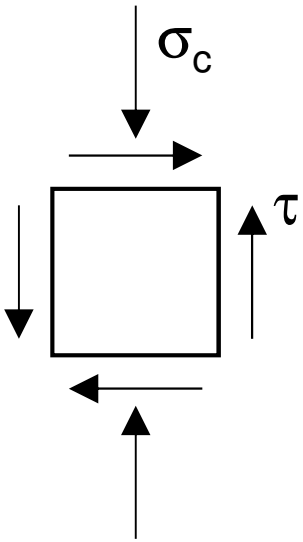
fornisce valori nulli se $\nu_d \geq \eta$

I criteri di dimensionamento suggeriti non dovrebbero portare a tanto, ma il ΔN da sisma può dare problemi

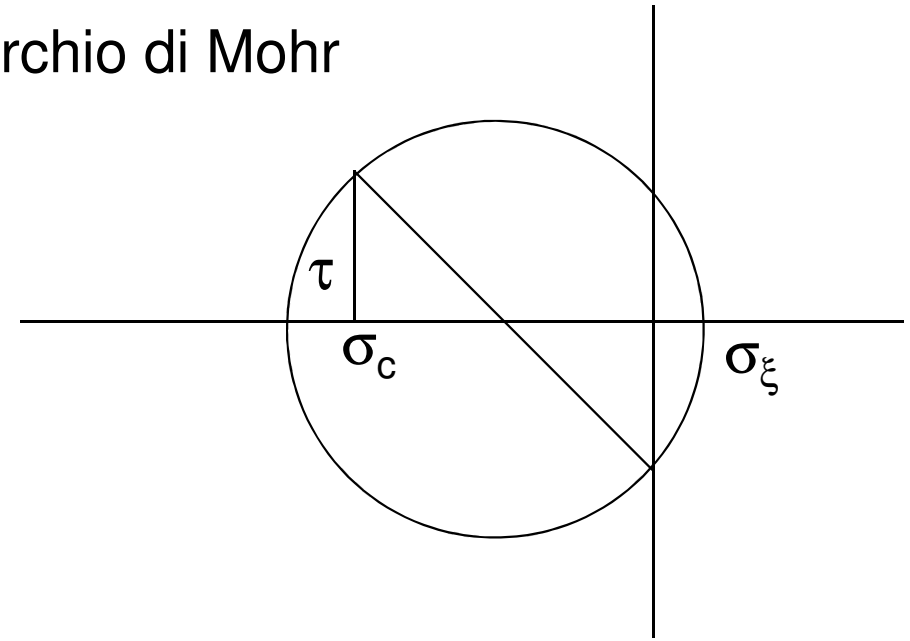
In questi casi può essere utile fare affidamento sul confinamento del calcestruzzo, oltre che sull'avere usato un calcestruzzo C30/37 anziché un C25/30

Verifica del nodo

trazione - in assenza di specifiche armature



Cerchio di Mohr



$$\sigma_c = \frac{N}{b\,h}$$

$$\tau = \frac{V_j}{b\,h}$$

$$\sigma_\xi = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2 + \tau^2} - \left(\frac{\sigma_c}{2}\right) \leq f_{ct}$$

trazione

Verifica del nodo

trazione - in assenza di specifiche armature

$$\sigma_\eta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2 + \tau^2} - \left(\frac{\sigma_c}{2}\right) \leq f_{ct}$$ trazione

si può ottenere

$$\tau \leq f_{ct} \sqrt{1 + \frac{\sigma_c}{f_{ct}}}$$

ovvero

$$V_j \leq f_{ct}\, b\, h \sqrt{1 + \frac{N}{b\, h\, f_{ct}}}$$

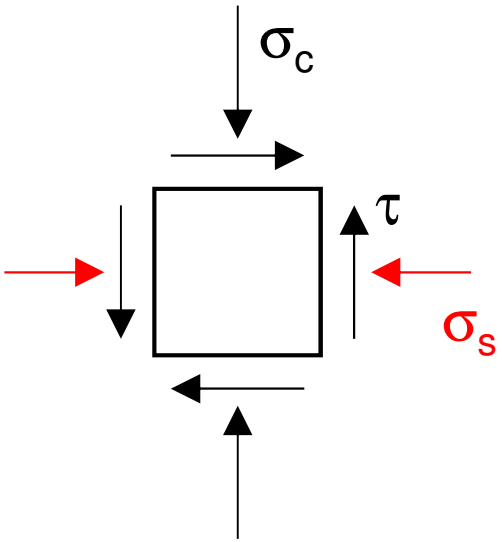
$$f_{ctm} = 0.3\, f_{ck}^{2/3}$$ NTC 08

$$f_{ctm} = 0.3 \sqrt{f_c}$$ OPCM 3431

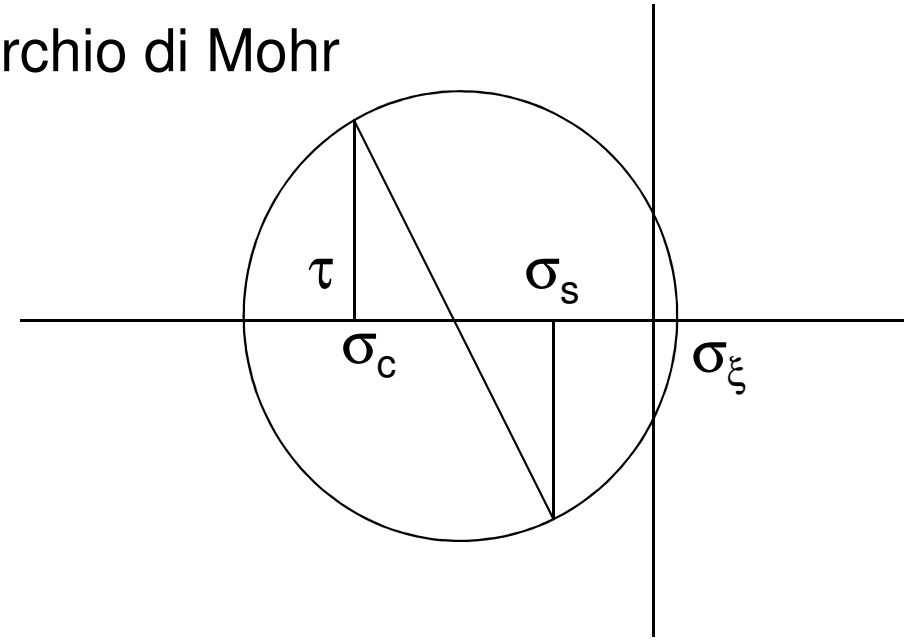
Questa verifica è difficilmente soddisfatta. La formula può essere utile solo nella verifica di edifici esistenti, privi di staffe nel nodo

Verifica del nodo

trazione - in presenza di armature orizzontali



Cerchio di Mohr



$$\sigma_c = \frac{N}{b\,h} \qquad \sigma_s = \frac{A_s\,f_y}{b\,h}$$

$$\tau = \frac{V_j}{b\,h}$$

$$\sigma_\xi = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c - \sigma_s}{2}\right)^2 + \tau^2} - \left(\frac{\sigma_c + \sigma_s}{2}\right) \leq f_{ct}$$

trazione

Verifica del nodo

trazione - in presenza di armature orizzontali

$$\sigma_\xi = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c - \sigma_s}{2}\right)^2 + \tau^2} - \left(\frac{\sigma_c + \sigma_s}{2}\right) \leq f_{ct}$$ trazione

con semplici passaggi
(vedi file Nodo.pdf)

$$\tau \leq \sqrt{(f_{ct} + \sigma_c)(f_{ct} + \sigma_s)}$$ per verifica

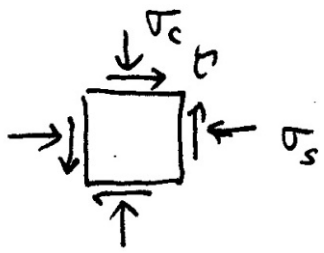
$$\sigma_s \geq \frac{\tau^2}{f_{ct} + \sigma_c} - f_{ct}$$ per progetto armatura

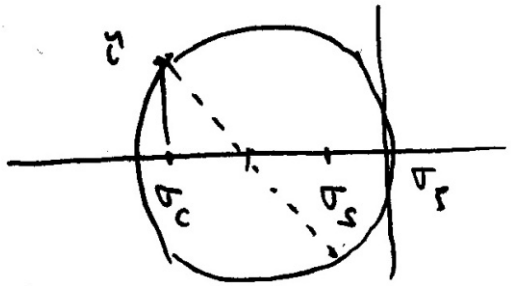
ovvero
NTC 08, punto 7.4.4.3.1

$$\frac{A_s\, f_y}{b\, h} \geq \frac{(V / bh)^2}{f_{ct} + \nu\, f_c} - f_{ct}$$

$$\nu = \frac{N}{b\, h\, f_c}$$

Nodo con armature





$$\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c - \sigma_s}{2}\right)^2 + \tau^2} - \frac{\sigma_c + \sigma_s}{2}$$

trazione

$$\sigma_s \le f_{ctd} \qquad \sqrt{\left(\frac{\sigma_c - \sigma_s}{2}\right)^2 + \tau^2} - \frac{\sigma_c + \sigma_s}{2} \le f_{ctd}$$

$$\left(\frac{\sigma_c - \sigma_s}{2}\right)^2 + \tau^2 \le \left(f_{ctd} + \frac{\sigma_c + \sigma_s}{2}\right)^2 = f_{ctd}^2 + \left(\frac{\sigma_c + \sigma_s}{2}\right)^2 + f_{ctd}(\sigma_c + \sigma_s)$$

$$\cancel{\frac{\sigma_c^2}{4}} + \cancel{\frac{\sigma_s^2}{4}} - \frac{\sigma_c \sigma_s}{2} + \tau^2 \le f_{ctd}^2 + \cancel{\frac{\sigma_c^2}{4}} + \cancel{\frac{\sigma_s^2}{4}} + \frac{\sigma_c \sigma_s}{2} + f_{ctd}\sigma_c + f_{ctd}\sigma_s$$

$$\tau^2 \le (f_{ctd} + \sigma_c)(f_{ctd} + \sigma_s)$$

$$\sigma_s \ge \frac{\tau^2}{f_{ctd} + \sigma_c} - f_{ctd}$$

Staffe nel nodo

- La normativa impone di effettuare le verifiche innanzi indicate solo per nodi non confinati di struttura di classe di duttilità A
  - I valori di staffe nel nodo che si ottengono sono veramente alti, difficilmente proponibili
  - Ci sono studi sperimentali e (sembra) la normativa neozelandese che indicano che serve una minore quantità di staffe nel nodo

Staffe nel nodo

- La normativa impone comunque, indipendentemente dalla classe di duttilità, di disporre in nodi non confinati una quantità di staffe che rispetti la condizione

$$\frac{n_{st}\ A_{st}}{i\ b_j} \geq 0.05 \frac{f_{ck}}{f_{yk}}$$

ovvero che l'interasse i delle staffe nel nodo sia

$$i \leq \frac{n_{st}\ A_{st}}{b_j\ 0.05 \frac{f_{ck}}{f_{yk}}}$$

Scomparso in NTC18

Staffe nel nodo

- Esempio
  - f_{ck}=25 MPa f_{yk}=450 MPa
  - n_{st}=2 A_{st}=0.5 cm^2
  - b_j=30 cm

si ottiene

$$i \leq \frac{2 \times 0.5}{30 \times 0.05 \frac{25}{450}} = 12 \text{ cm}$$

che è un valore pienamente accettabile

Scomparso
in NTC18

Verifica di rigidezza dell'impalcato

È necessaria solo se si è effettuata l'ipotesi di impalcato planimetricamente indeformabile

Richiede di:

- analizzare l'impalcato estratto dalla struttura e soggetto ad un insieme di azioni equilibrate
- calcolarne la deformazione con schema di lastra o, se una dimensione è predominante, con schema di trave deformabile a taglio
- confrontare le deformazioni relative tra impalcati adiacenti con gli spostamenti relativi forniti dalla risoluzione del telaio spaziale

Verifica di resistenza dell'impalcato

È sempre necessaria

Richiede di:

- analizzare l'impalcato estratto dalla struttura e soggetto ad un insieme di azioni equilibrate
- calcolarne lo stato tensionale (con schema di lastra o, se una dimensione è predominante, con schema di trave)

- valutare l'ammissibilità della sezione in calcestruzzo e l'eventuale necessità di armature aggiuntive per garantire la resistenza

Gerarchia delle resistenze: incrementare del 30% le forze ottenute dall'analisi (confermato da NTC)

Verifica delle fondazioni
1 - azioni sulle fondazioni

- Le azioni sulle fondazioni devono essere valutate nel rispetto della gerarchia delle resistenze

  Si considera quindi agente:
  - Lo sforzo normale dovuto a carichi quasi permanenti più azione sismica;
  - Il momento resistente del pilastro associato a quel valore dello sforzo normale

    Nota: in alternativa si può prendere come momento M:
    - γ_{Rd} per valore uscito dal calcolo
      (γ_{Rd} = 1.1 per CD "B", 1.3 per CD "A")
    - Il valore che esce dal calcolo con q=1.5

NTC, punto 7.2.5

Verifica delle fondazioni
2 – fondazioni dirette, criteri di progetto

- Normali verifiche allo stato limite ultimo

Nota: la normativa dice

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

ma questo vuol dire semplicemente che non occorrono accorgimenti particolari, a parte la normale verifica agli SLU

Questa frase non c'è più in NTC 18

NTC 08, punto 7.2.5

Verifica delle fondazioni
3 – fondazioni dirette, armature

- Normali armature per allo stato limite ultimo

  Nota: armatura longitudinale non inferiore allo 0.2% della sezione

NTC, punto 7.2.5

Verifica delle fondazioni
4 – fondazioni su pali

- Tener conto, se occorre, dell'interazione cinematica

- Disporre un'armatura longitudinale non inferiore allo 0.3% della sezione

NTC, punto 7.2.5

Verifica delle fondazioni
5 – spostamenti relativi

- Tener conto degli effetti che possono essere indotti da spostamenti relativi
- Non occorre calcolo specifico d tali effetti se si collegano le fondazioni con un reticolo di travi o con una piastra in grado di sopportare azioni assiali:

$0.2\ N_{sd}\ a_{max}/g$	per suolo tipo A (nuovo, non in NTC08)
$0.3\ N_{sd}\ a_{max}/g$	per suolo tipo B
$0.4\ N_{sd}\ a_{max}/g$	per suolo tipo C
$0.6\ N_{sd}\ a_{max}/g$	per suolo tipo D

N_{sd} = valore medio delle forze verticali sugli elementi collegati

$a_{max} = a_g\ S$

NTC, punto 7.2.5