

Corso di aggiornamento  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

**Problemi specifici nel progetto di strutture  
antisismiche con pareti in c.a.**

3 - L'elemento parete: taglio

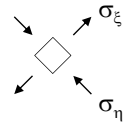
Bologna  
10 gennaio 2013  
Edoardo M. Marino

**Taglio**  
breve richiami

- Secondo la teoria di De Saint Venant, il taglio genera tensioni tangenziali  $\tau$



- Se in un elementino infinitesimo vi sono solo  $\tau$ , a queste corrispondono tensioni principali di trazione e compressione inclinate a  $45^\circ$

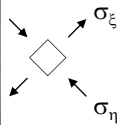


**Taglio**  
breve richiami



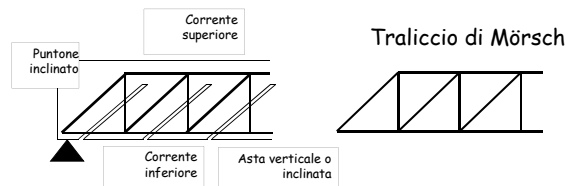
foto M. Dasasso

Si avranno quindi lesioni a  $45^\circ$ , perpendicolari alla direzione di trazione



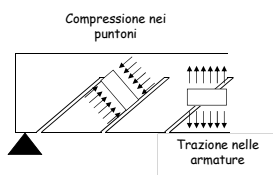
**Taglio**  
breve richiami

- Il classico modello di traliccio di Mörsch prevede puntoni compressi a  $45^\circ$  e tiranti corrispondenti alle armature a taglio



**Taglio**  
breve richiami

- Sostanzialmente equivalente è il modello a campi di tensione, sviluppato in tempi recenti



Campi di tensione

**Taglio**  
breve richiami

- I modelli classici "affidano tutta la resistenza a taglio alle armature"
- I loro risultati sono cautelativi, cioè sottostimano la reale resistenza a taglio
- In tempi più recenti sono stati proposti modelli che meglio colgono la reale resistenza a taglio
  - Modello "normale"
  - Modello "a inclinazione variabile del traliccio" (o meglio del puntone)

### Taglio breve richiami

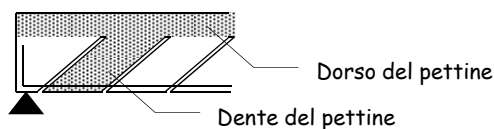
- Modello "normale"

- Quando le armature a taglio si snervano rimangono il corrente compresso e i puntoni inclinati, che danno una ulteriore resistenza (valutata col "modello a pettine")

$$V_{Rd} = V_{wd} + V_{cd}$$

armatura a taglio  
calcestruzzo del  
pettine

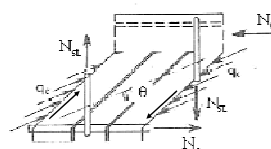
#### Modello a pettine



### Taglio breve richiami

- Modello "a inclinazione variabile del traliccio"

- Quando le armature a taglio si snervano l'ingranamento degli inerti trasmette tensioni tra le facce della lesione e questo modifica l'inclinazione del puntone compresso



Si usano i modelli già citati (traliccio di Mörsch, campi di tensione) ma con puntoni inclinati di un angolo  $\theta$

È questo il modello previsto dalla normativa corrente

### Taglio problemi particolari

- I modelli per il taglio non valgono in prossimità di forze concentrate (e quindi agli estremi)
  - La verifica a taglio va fatta ad una certa distanza
  - Agli estremi si possono usare modelli tirante-puntone

Nel caso delle pareti, questo richiede una distinzione tra pareti snelle e pareti tozze

Pareti snelle

- Si adottano i modelli di comportamento validi per le travi

Pareti tozze

- Si adottano i modelli di comportamento per elementi strutturali tozzi (ad esempio tirante-puntone)

### Taglio problemi particolari

- I modelli per il taglio non valgono in prossimità di forze concentrate (e quindi agli estremi)
  - La verifica a taglio va fatta ad una certa distanza
  - Agli estremi si possono usare modelli tirante-puntone

Nel caso delle pareti, questo richiede una distinzione tra pareti snelle e pareti tozze

Pareti snelle

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} l_w} \geq 2$$

Pareti tozze

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} l_w} < 2$$

NTC 08, punto 7.4.4.5.2.2

### Taglio problemi particolari

- I modelli per il taglio non valgono in prossimità di forze concentrate (e quindi agli estremi)
  - La verifica a taglio va fatta ad una certa distanza
  - Agli estremi si possono usare modelli tirante-puntone
- Il contributo del calcestruzzo può annullarsi in caso di carico ciclico con segno alternato del taglio
  - In questi casi deve  $\theta$  rimanere  $45^\circ$

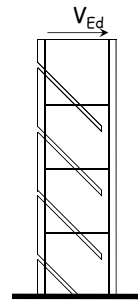
Indicazioni specifiche sono fornite per gli edifici di classe di duttilità "A", che richiedono maggiore duttilità

### Taglio problemi particolari

- I modelli per il taglio non valgono in prossimità di forze concentrate (e quindi agli estremi)
  - La verifica a taglio va fatta ad una certa distanza
  - Agli estremi si possono usare modelli tirante-puntone
- Il contributo del calcestruzzo può annullarsi in caso di carico ciclico con segno alternato del taglio
  - In questi casi deve  $\theta$  rimanere  $45^\circ$
- Il traliccio di Mörsch in presenza di sole staffe trascura la componente longitudinale della trazione: è necessario considerare (l'uno o l'altro, in alternativa)
  - Traslazione del diagramma dei momenti
  - Contributo dell'armatura di parete

## Verifica a taglio di pareti snelle

## Verifica a taglio di pareti snelle modelli di calcolo



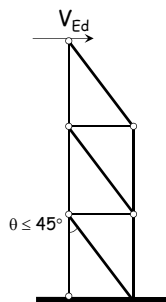
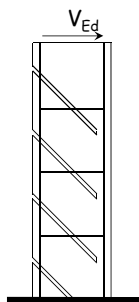
Attraverso l'analisi di:

- stato tensionale
- lesioni da taglio
- ingranamento degli inerti



Modello a inclinazione variabile  
del traliccio

## Verifica a taglio di pareti snelle modelli di calcolo



Puntoni ad inclinazione variabile  
 $\theta \leq 45^\circ$

## Resistenza del calcestruzzo compressione del calcestruzzo d'anima

$$V_{Rd,max} = \alpha_c f'_{cd} b_w z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad 1 \leq \cot \theta \leq 2.5$$



$$f'_{cd} = v_1 f_{cd} \quad v_1 = 0.5 \quad \text{resistenza ridotta a causa della trazione in direzione ortogonale}$$

$\alpha_c$  tiene conto della compressione

$\alpha_c = 1$  in assenza di compressione

$$\alpha_c = 1 + \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \quad \text{per } 0 \leq \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \leq 0.25$$

$$\alpha_c = 1.25 \quad \text{per } 0.25 \leq \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \leq 0.5$$

$$\alpha_c = 2.5 \left( 1 - \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \right) \quad \text{per } 0.5 \leq \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \leq 1$$

per le pareti  
 $\alpha_c$  è in genere  
prossimo ad 1

NTC 08, punto 4.1.2.1.3.2

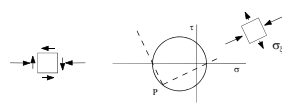
## Resistenza dell'armatura a taglio trazione dell'armatura d'anima

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} z \cot \theta \quad 1 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

In presenza di compressione:

$$\cot \theta_1 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

$$\cot \theta_1 = \frac{\tau}{\sigma_c}$$



Nota: Discordanza di simboli tra NTC08 e EC2.  
Io faccio riferimento a EC2

NTC 08, punto 4.1.2.1.3.2

## Resistenza a taglio pareti snelle

- Si applicano le formule generali

$$V_{Rd,max} = \alpha_c f'_{cd} b_w z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} z \cot \theta$$

tenendo conto che  $z = 0.8 l_w$

Classe di duttilità B

$$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

Classe di duttilità A

$$\cot \theta = 1$$

ridurre  $V_{Rd,max}$  col fattore 0.4 nelle zone critiche

NTC 08, punto 7.4.4.5.2.2

## Resistenza a taglio pareti snelle - classe di duttilità A

Che senso hanno le prescrizioni per CD "A" ?

Usare  $\cot \theta = 1$

Durante il sisma il progressivo danneggiamento del calcestruzzo riduce l'efficacia dell'ingranamento degli inerti per cui  $\theta = 45^\circ$

Ridurre  $V_{Rd,max}$  col fattore 0.4

Usare  $\cot \theta = 1$  è cautelativo per l'armatura ma non per il calcestruzzo

Se  $\cot \theta$  cresce  $V_{Rd,max}$  si riduce  
(per  $\cot \theta = 2 \rightarrow V_{Rd,max}$  si riduce di 0.8) Ma allora come mai 0.4 e non 0.8?

## Resistenza a taglio pareti snelle - classe di duttilità A

Che senso hanno le prescrizioni per CD "A" ?

• Notare l'evoluzione della normativa

Al di fuori della zona critica  $V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \alpha_c f'_{cd} b_w z$

Nella zona critica

PreStandard EC8 1998:  $V_{Rd,max} = 0.4 \alpha_c f'_{cd} b_w z$

Bozze EC8 2002 e 2001:  $V_{Rd,max} = 0.8 \left( \frac{1}{2} \alpha_c f'_{cd} b_w z \right)$

NTC08, EC8 2005:  $V_{Rd,max} = 0.4 \left( \frac{1}{2} \alpha_c f'_{cd} b_w z \right)$

L'attuale 0.4 è voluto o è un errore di trascrizione?

## Cosa cambia con la Bozza NTC 2013 pareti snelle

Uguali prescrizioni per le due classi di duttilità

• Si assume  $\cot \theta = 1$

$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \alpha_c f'_{cd} b_w z \quad V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} z$$

• Nelle zone critiche

ridurre  $V_{Rd,max}$  col fattore 0.4

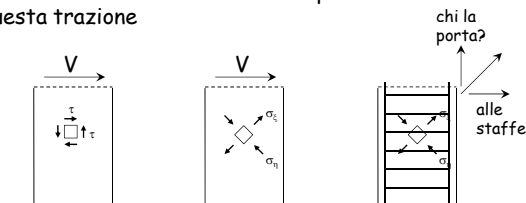
## Taglio problemi particolari

1. I modelli per il taglio non valgono in prossimità di forze concentrate (e quindi agli estremi)
  - La verifica a taglio va fatta ad una certa distanza
  - Agli estremi si possono usare modelli tirante-puntone
2. Il contributo del calcestruzzo può annullarsi in caso di carico ciclico con segno alternato del taglio
  - In questi casi deve  $\theta$  rimanere  $45^\circ$
3. Il traliccio di Mörsch in presenza di sole staffe trascura la componente longitudinale della trazione: è necessario considerare (l'uno o l'altro, in alternativa)
  - Traslazione del diagramma dei momenti
  - Contributo dell'armatura di parete

## Taglio

la componente longitudinale della trazione

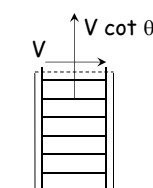
- Nel modello di De Saint Venant il taglio genera tensioni tangenziali  $\tau$  e quindi tensioni principali di trazioni a  $45^\circ$
- Le staffe assorbono solo una componente di questa trazione



## Taglio

la componente longitudinale della trazione

- Il modello dei campi di tensione (con inclinazione  $\theta$  della compressione) mostra che l'anima della parete è soggetta ad una forza di trazione pari a  $V \cot \theta$

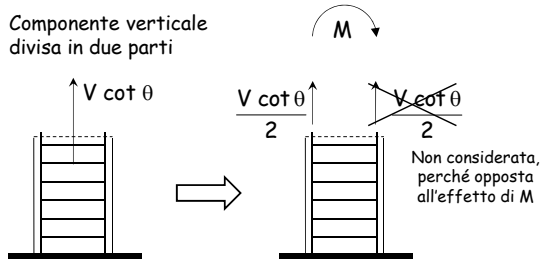


- Sono stati sviluppati modelli diversi per assorbire questa trazione
  - armature concentrate all'estremità della sezione
  - armature diffuse lungo l'anima

### Taglio

la componente longitudinale della trazione

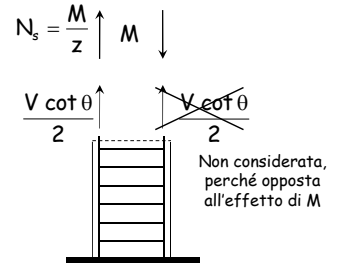
- Armatura concentrata all'estremità della sezione (scuola milanese)
- Componente verticale divisa in due parti



### Taglio

la componente longitudinale della trazione

- Armatura concentrata all'estremità della sezione (scuola milanese)
- Si incrementa l'armatura a flessione, ovvero si calcola tale armatura con un momento flettente maggiorato



Traslazione del diagramma del momento

### Taglio

la componente longitudinale della trazione

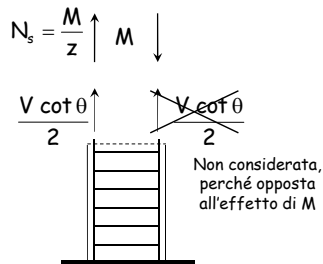
- Armatura concentrata all'estremità della sezione (scuola milanese)

Traslazione del diagramma del momento

$$N_s = \frac{M}{z} + V \frac{\cot \theta}{2} = \frac{M + \Delta M}{z}$$

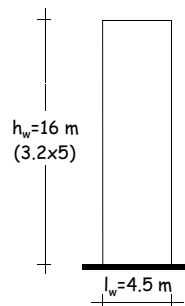
$$\Delta M = V \Delta z$$

$$\Delta z = \frac{z}{2} \cot \theta$$



### Traslazione del diagramma del momento esempio

$$z = 0.8 l_w$$

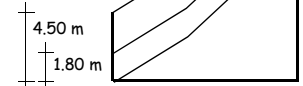


$$\cot \theta = 1.0$$

$$\cot \theta = 2.5$$

$$z/2 = 0.4 l_w$$

$$2.5 z/2 = l_w$$

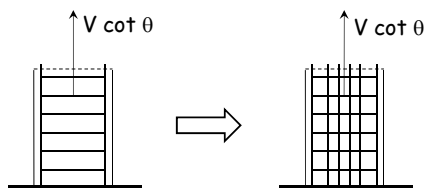


### Taglio

la componente longitudinale della trazione

- Armatura diffusa lungo l'anima (scuola napoletana)
- Apposita armatura per tutta la componente verticale

$$A_{s,p} = \frac{V \cot \theta}{f_{yd}}$$



### Taglio

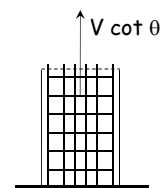
la componente longitudinale della trazione

- Armatura diffusa lungo l'anima (scuola napoletana)
- Apposita armatura per tutta la componente verticale (armatura di parete)

$$A_{s,p} = \frac{V \cot \theta}{f_{yd}}$$

Si noti che:

- questo è quanto si fa per la torsione
- questa armatura è espressamente prevista anche per il taglio nelle pareti tozze



### Considerazioni

- La normativa cita espressamente la traslazione del diagramma dei momenti che "deve essere in accordo con l'inclinazione degli elementi compressi nel meccanismo resistente a taglio e può essere assunta pari a  $h_{cr}$ "
- Questa è chiaramente una regola applicativa, legata ad un possibile modo di tener conto della componente longitudinale
- È possibile in alternativa calcolare l'armatura di parete e non effettuare la traslazione del diagramma dei momenti

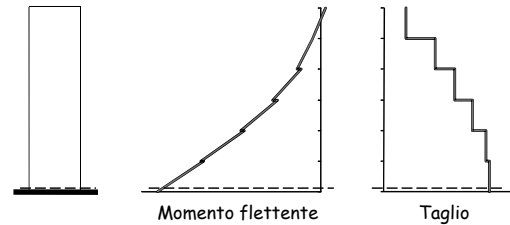
NTC 08, punto 7.4.4.5.1

### Considerazioni

- Come e dove fare le verifiche?

Sezione di base

- momento flettente massimo
- ha poco senso parlare di taglio



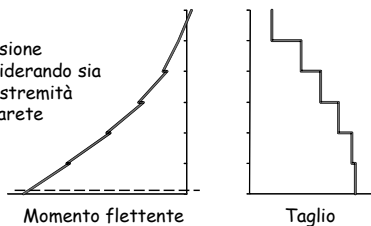
### Considerazioni

- Come e dove fare le verifiche?

Sezione di base

- momento flettente massimo
- ha poco senso parlare di taglio

- Verifica a flessione composta considerando sia l'armatura di estremità che quella di parete



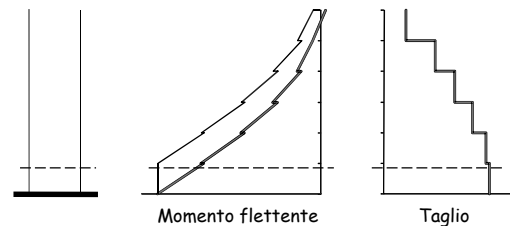
### Considerazioni

- Come e dove fare le verifiche?

Sezione in testa al primo ordine

con traslazione

- taglio massimo (come al piede)
- momento flettente massimo



### Considerazioni

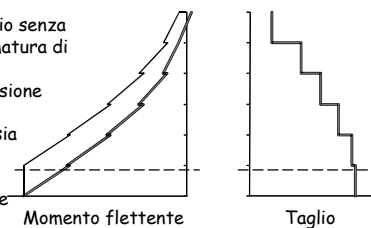
- Come e dove fare le verifiche?

Sezione in testa al primo ordine

con traslazione

- taglio massimo (come al piede)
- momento flettente massimo

- Verifica a taglio senza prevedere armatura di parete
- Verifica a flessione composta, considerando sia l'armatura di estremità che quella di parete



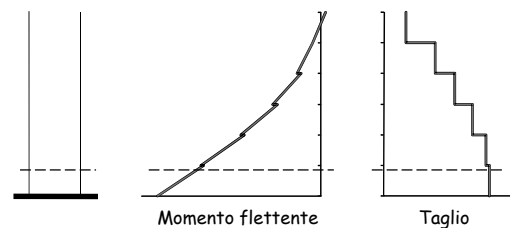
### Considerazioni

- Come e dove fare le verifiche?

Sezione in testa al primo ordine

senza traslazione

- taglio massimo (come al piede)
- momento flettente forte ma minore del massimo



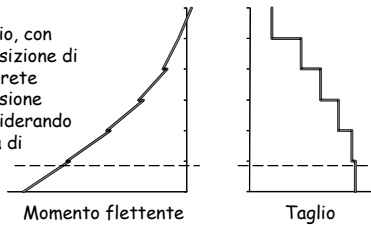
### Considerazioni

- Come e dove fare le verifiche?

Sezione in testa al primo ordine senza traslazione

- taglio massimo (come al piede)
- momento flettente forte ma minore del massimo

- Verifica a taglio, con calcolo e disposizione di armatura di parete
- Verifica a flessione composta considerando solo l'armatura di estremità



### Considerazioni

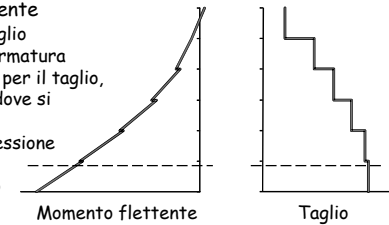
- Come e dove fare le verifiche?

Sezione in testa al primo ordine

- taglio massimo (come al piede)
- momento flettente forte ma minore del massimo

Più semplicemente

- Verifica a taglio
- Calcolo dell'armatura longitudinale per il taglio, da disporre dove si preferisce
- Verifica a flessione composta considerando la restante armatura

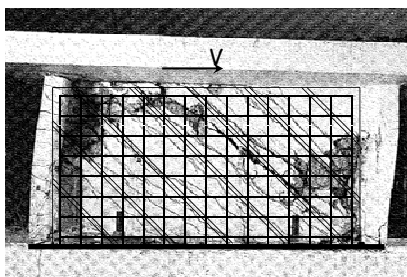


### Verifica a taglio di pareti tozze

### Verifica a taglio di parete tozza modelli di calcolo

- Si ragiona con considerazioni di equilibrio che in sostanza non sono diverse da quelle adottate per il traliccio di Mörsch (o per i campi di tensione)
- Il puntone compresso è considerato inclinato a  $45^\circ$ , come nel tradizionale traliccio di Mörsch
  - Per il comportamento dopo lo snervamento delle armature a taglio si riprende il modello "normale"
- Le vere particolarità sono:
  - Il fatto che, essendo  $l_w$  molto grande, si parte dal taglio per unità di lunghezza
  - Il fatto che il modello considera esplicitamente sia armature trasversali che longitudinali

### Verifica a taglio di parete tozza modelli di calcolo

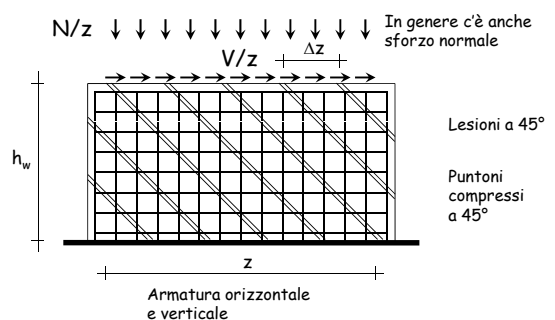


Lesioni a  $45^\circ$

Puntoni compressi a  $45^\circ$

Armatura orizzontale e verticale

### Verifica a taglio di parete tozza modelli di calcolo



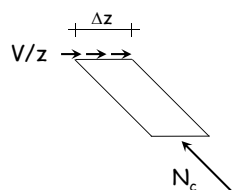
Lesioni a  $45^\circ$

Puntoni compressi a  $45^\circ$

Armatura orizzontale e verticale

### Resistenza del calcestruzzo compressione del calcestruzzo d'anima

- Il collasso può avvenire per schiacciamento del calcestruzzo d'anima



$$N_c = V \frac{\Delta z}{z} \sqrt{2}$$

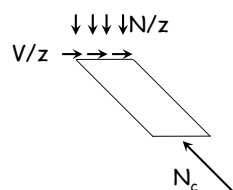
$$A_c = \frac{b_w \Delta z}{\sqrt{2}}$$

ponendo  $\sigma_c = f'_{cd}$   
 $v_1 = 0.5$   
 $f_{cd} = v_1 f'_{cd}$

si ottiene  $V_{Rd,max} = \frac{1}{2} f'_{cd} b z$

### Resistenza del calcestruzzo compressione del calcestruzzo d'anima

- Il collasso può avvenire per schiacciamento del calcestruzzo d'anima



In presenza di sforzo normale

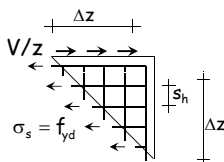
$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \alpha_c f'_{cd} b z$$

$$\alpha_c = \alpha_c(N)$$

Come  $V_{Rd,max}$  di pareti snelle per  $\cot \theta = 1$

### Resistenza dell'armatura a taglio trazione dell'armatura d'anima orizzontale

- Il collasso può avvenire per snervamento dell'armatura orizzontale (staffe)



$$F_h = V \frac{\Delta z}{z} = A_s f_{yd}$$

$$A_s = A_{sh} \frac{\Delta z}{s_h}$$

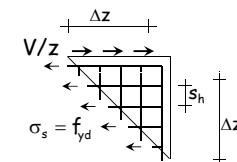
si ottiene

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sh}}{s_h} z f_{yd}$$

Come  $V_{Rd,s}$  di pareti snelle per  $\cot \theta = 1$

### Resistenza dell'armatura a taglio trazione dell'armatura d'anima orizzontale

- Il collasso può avvenire per snervamento dell'armatura orizzontale (staffe)



$$F_h = V \frac{\Delta z}{z} = A_s f_{yd}$$

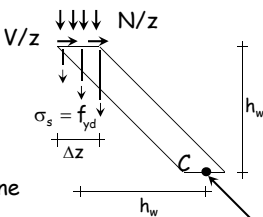
$$A_s = A_{sh} \frac{\Delta z}{s_h}$$

si ottiene

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sh}}{s_h} z f_{yd} \Rightarrow \begin{cases} V_{Rd,s} = \rho_h b_w z f_{yd} \\ \rho_h = \frac{A_{sh}}{b_w s_h} \end{cases}$$

### Resistenza dell'armatura a taglio trazione dell'armatura d'anima verticale

- Il collasso può avvenire per snervamento dell'armatura verticale



$$F_h = V \frac{\Delta z}{z}$$

$$F_v = A_{sv} \frac{\Delta z}{s_v} f_{yd} + N \frac{\Delta z}{z}$$

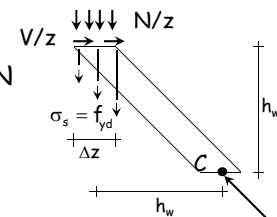
dall'equilibrio alla rotazione attorno a C

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sv}}{s_v} z f_{yd} + N$$

A meno di N, come pareti snelle per  $\cot \theta = 1$

### Resistenza dell'armatura a taglio trazione dell'armatura d'anima verticale

- Il collasso può avvenire per snervamento dell'armatura verticale



$$\begin{cases} V_{Rd,s} = \rho_v b_w z f_{yd} + N \\ \rho_v = \frac{A_{sv}}{b_w s_v} \end{cases}$$

↑

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sv}}{s_v} z f_{yd} + N$$



### Resistenza dell'armatura a taglio trazione dell'armatura d'anima verticale e orizzontale

- Le indicazioni di normativa richiamano il metodo "normale"

- Armatura orizzontale

$$V_{Rd,s} = V_{Rd,c} + 0.75 \rho_h b_w \alpha_s l_w f_{yd}$$

$$\text{con } \alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} l_w}$$

$V_{Rd,c}$  = resistenza in assenza di armatura a taglio

- Armatura verticale

$$\rho_h b_w z f_{yd} \leq \rho_v b_w z f_{yd} + N_{Ed,min}$$

L'armatura orizzontale deve snervarsi prima di quella verticale

NTC 08, punto 7.4.4.5.2.2

### Resistenza a taglio in assenza di armatura a taglio

- Valgono le indicazioni generali
- Si utilizza il modello "a pettine" che tiene conto di
  - effetto spinotto
  - ingranamento degli inerti
  - influenza dell'azione assiale

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.18 k \frac{\sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}}}{\gamma_c} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b d$$

$V_{Rd,c} = 0$   
se  $N_{Ed}$  è di trazione

$$\geq v_{min} = 0.035 \sqrt{k^3 f_{ck}}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad d \text{ in mm}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 f_{cd}$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{b d} \leq 0.02$$

NTC 08, punto 4.1.2.1.3.1

### Considerazioni

- La normativa dice di usare le espressioni indicate in precedenza solo per pareti tozze ( $\alpha_s < 2$ ) in classe di duttilità A
- Mancherebbero quindi indicazioni specifiche per pareti tozze in classe di duttilità B

Penso invece che queste indicazioni debbano sempre essere utilizzate nel caso di pareti tozze, indipendentemente dalla classe di duttilità

La bozza delle NTC 2013 richiede l'applicazione di queste indicazioni per entrambe le classi di duttilità