

Corso di aggiornamento

Progetto di strutture antisismiche  
con pareti in c.a. ed in acciaio

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

10 - Influenza della fessurazione delle pareti

Imola

23-25 giugno 2011

Edoardo M. Marino

## Prescrizioni sulla modellazione

7.2.6 CRITERI DI MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E AZIONE SISMICA

omissis

Per rappresentare la rigidità degli elementi strutturali si possono adottare modelli lineari, che trascurano le non linearità di materiale e geometriche, e modelli non lineari, che le considerano; in ambo i casi si deve tener conto della fessurazione dei materiali fragili. In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidità flessionale e a taglio di elementi in muratura, cemento armato, acciaio-calcestruzzo, può essere ridotta sino al 50% della rigidità dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dell'influenza della sollecitazione assiale permanente.

Cosa implica?

- riduzione della rigidità, aumento del periodo, e possibile riduzione delle forze sismiche
- redistribuzione delle sollecitazioni indotte dal sisma (la fessurazione riduce in maniera diversa la rigidità dei diversi elementi strutturali)

NTC 08, punto 7.4.6

## Prescrizioni sulla modellazione

7.2.6 CRITERI DI MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E AZIONE SISMICA

omissis

Per rappresentare la rigidità degli elementi strutturali si possono adottare modelli lineari, che trascurano le non linearità di materiale e geometriche, e modelli non lineari, che le considerano; in ambo i casi si deve tener conto della fessurazione dei materiali fragili. In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidità flessionale e a taglio di elementi in muratura, cemento armato, acciaio-calcestruzzo, può essere ridotta sino al 50% della rigidità dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dell'influenza della sollecitazione assiale permanente.

Considerare la struttura in condizioni fessurate è concettualmente corretto, ma come tenerne conto?

Dimezzare la rigidità di tutti gli elementi resistenti:

- porta ad un calcolo non conservativo
- non coglie la redistribuzione delle sollecitazioni

NTC 08, punto 7.4.6

## Prescrizioni sulla modellazione

7.2.6 CRITERI DI MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E AZIONE SISMICA

omissis

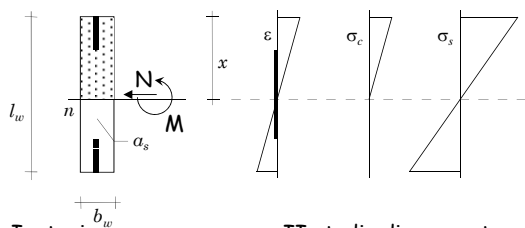
Per rappresentare la rigidità degli elementi strutturali si possono adottare modelli lineari, che trascurano le non linearità di materiale e geometriche, e modelli non lineari, che le considerano; in ambo i casi si deve tener conto della fessurazione dei materiali fragili. In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidità flessionale e a taglio di elementi in muratura, cemento armato, acciaio-calcestruzzo, può essere ridotta sino al 50% della rigidità dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dell'influenza della sollecitazione assiale permanente.

Considerare la struttura in condizioni fessurate è concettualmente corretto, ma come tenerne conto?

Si può considerare almeno l'effetto della fessurazione delle pareti facendo riferimento alla loro sezione geometrica omogeneizzata.

NTC 08, punto 7.4.6

### Sezione fessurata

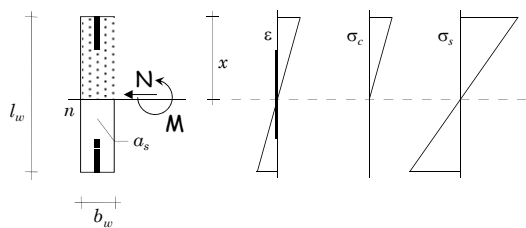


Ipotesi:

II stadio di comportamento

- legame  $\sigma$ - $\varepsilon$  elastico lineare non resistente a trazione per il calcestruzzo
- legame  $\sigma$ - $\varepsilon$  elastico lineare per l'acciaio
- perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo ( $\sigma_s = n \sigma_c$ )

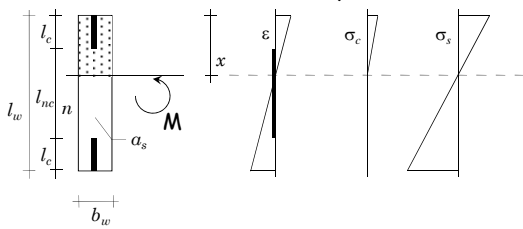
### Asse neutro



Per trovare l'asse neutro si procede diversamente per:

- flessione semplice ( $N = 0$ )
- flessione composta ( $N \neq 0$ )

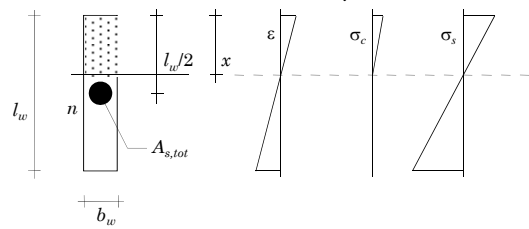
### Asse neutro (flessione semplice)



L'asse neutro è baricentrico:  $S_n = 0$

$$A_{s,tot} = 2 a_{sc} l_c + a_{snc} l_{nc}$$

### Asse neutro (flessione semplice)

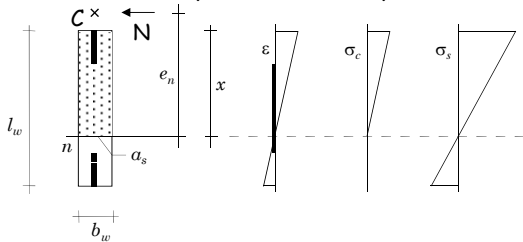


L'asse neutro è baricentrico:  $S_n = 0$

$$\frac{b_w x^2}{2} + n A_{s,tot} x - \frac{1}{2} n A_{s,tot} l_w = 0$$

... che fornisce x

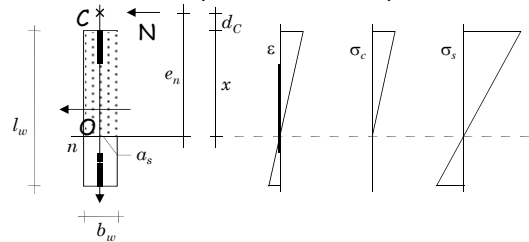
### Asse neutro (flessione composta - sezione parzializzata)



La sezione reagente omogeneizzata soddisfa la relazione:

$$S_n e_n = I_n$$

### Asse neutro (flessione composta - sezione parzializzata)



Eccentricità rispetto all'asse neutro:

$$e_n = d_c - x \quad \text{con} \quad d_c = \frac{M}{N} + \frac{l_w}{2}$$

N.B.  $d_c$  è negativo nel caso in esame

### Asse neutro (flessione composta - sezione parzializzata)

Momento d'inerzia rispetto all'asse neutro:

$$I_n = \frac{b_w x^3}{3} + n \left[ I_{s,O} + A_{s,tot} \left( \frac{l_w}{2} - x \right)^2 \right]$$

Momento d'inerzia delle armature

Momento d'inerzia delle armature rispetto al baricentro

$$I_{s,O} = 2 \left[ \frac{a_{sc} l_c^3}{12} + a_{sc} \left( \frac{l_w - l_c}{2} \right)^2 \right] + \frac{a_{snc} l_{nc}^3}{12}$$

### Asse neutro (flessione composta - sezione parzializzata)

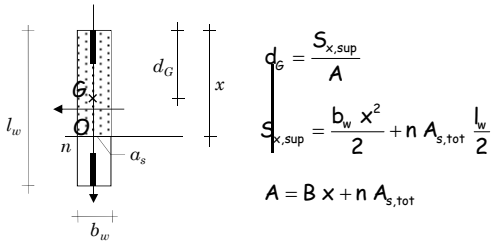
Momento statico rispetto all'asse neutro:

$$S_n = \frac{b_w x^2}{2} + n A_{s,tot} x + \frac{1}{2} n A_{s,tot} l_w$$

Sostituendo tutto nella condizione  $S_n e_n = I_n$

$$x^3 - 3 d_c x^2 + \frac{6 n}{b_w} A_{s,tot} \left( \frac{l_w}{2} - d_c \right) x - \frac{6 n}{b_w} \left[ I_{s,O} + A_{s,tot} \frac{l_w}{2} \left( \frac{l_w}{2} - d_c \right) \right] = 0$$

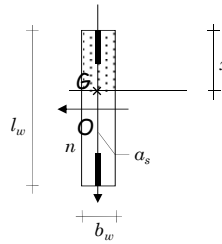
### Momento d'inerzia rispetto al baricentro



Calcolato  $d_G$  ...

$$I_G = \frac{b_w x^3}{12} + b_w x \left( d_G - \frac{x}{2} \right)^2 + n \left[ I_{s,O} + A_{s,tot} \left( \frac{l_w}{2} - d_G \right)^2 \right]$$

### Momento d'inerzia rispetto al baricentro



Nel caso di flessione semplice:

$$d_G = x$$

E quindi ...

$$I_G = I_n = \frac{b_w x^3}{3} + n \left[ I_{s,O} + A_{s,tot} \left( \frac{l_w}{2} - x \right)^2 \right]$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550  $N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$   
 $A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$   $M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$   
 $A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Se trascuro la presenza dello sforzo normale devo risolvere un'equazione di secondo grado ( $S_n=0$ )

$$\frac{b_w x^2}{2} + n A_{s,tot} x - \frac{1}{2} n A_{s,tot} l_w = 0$$

$$A_{s,tot} = 2 A_{sc} + A_{snc} = 2 \times 26 \times 3.14 + 26 \times 1.13 = 192.7 \text{ cm}^2$$

$$n = E_s / E_c = 6.67 \text{ (carichi di breve durata)}$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550  $N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$   
 $A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$   $M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$   
 $A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Se trascuro la presenza dello sforzo normale devo risolvere un'equazione di secondo grado ( $S_n=0$ )

$$15 x^2 + 1285.3 x - 353550 = 0 \Rightarrow x = 116.6 \text{ cm}$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550  $N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$   
 $A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$   $M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$   
 $A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Se trascuro la presenza dello sforzo normale devo risolvere un'equazione di secondo grado ( $S_n=0$ )

$$x = 116.6 \text{ cm}$$

$$I_G = I_n = \frac{b_w x^3}{3} + n \left[ I_{s,O} + A_{s,tot} \left( \frac{l_w}{2} - x \right)^2 \right] = 103753246 \text{ cm}^4$$

$$I_{s,O} = 8338334 \text{ cm}^4$$

$$\text{ovvero } 1.0375 \text{ m}^4$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550  $N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$   
 $A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$   $M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$   
 $A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Ripeto il calcolo considerando che la sezione è pressoinflessa

Calcolo l'armatura distribuita nei due tratti di parete

$$a_{sc} = \frac{A_{sc}}{l_c} = \frac{26 \times 3.14}{1.1} = 74.3 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \text{zona confinata}$$

$$a_{snc} = \frac{A_{snc}}{l_{nc}} = \frac{26 \times 1.13}{3.3} = 8.9 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \text{zona non confinata}$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550

$A_{sc} = 26 \phi 20$ ,  $l_c = 110$  cm

$A_{snc} = 26 \phi 12$ ,  $l_{nc} = 330$  cm

$N_{max} = -2491.5$  kN

$M_{Ed} = 18721$  kNm

Risolvere l'equazione di terzo grado e determinare

$$x = 149.6 \text{ cm}$$

$$d_g = 119.4 \text{ cm}$$

$$I_g = 1.0407 \text{ m}^4$$

È praticamente uguale al valore trovato nel caso di flessione semplice ( $1.0375 \text{ m}^4$ )

Vedere foglio Excel "Sezione fessurata"

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550,  $l_c = 110$  cm,  $l_{nc} = 330$  cm

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$x$ (cm)	
					Flessione semplice	Flessione composta
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	90.7	99.5
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	99.1	114.6
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	109.6	130.3
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	116.6	142.0
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	116.6	149.6

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550,  $l_c = 110$  cm,  $l_{nc} = 330$  cm

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$I_g$ (m <sup>4</sup> )	
					Flessione semplice	Flessione composta
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	0.5655	0.5655
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	0.7027	0.7030
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	0.9001	0.9009
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	1.0375	1.0390
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	1.0375	1.0407

I due casi ( $N=0$  ed  $N=N_{max}$ ) definiscono la fascia di comportamento della parete

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550,  $l_c = 110$  cm,  $l_{nc} = 330$  cm

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$I_g$ (m <sup>4</sup> )	
					Flessione semplice	Flessione composta
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	0.5655	0.5655
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	0.7027	0.7030
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	0.9001	0.9009
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	1.0375	1.0390
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	1.0375	1.0407

I momenti d'inerzia nei due casi sono quasi uguali, quindi si possono utilizzare quelli relativi alla flessione semplice perché è più facile calcolarli

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550,  $l_c = 110$  cm,  $l_{nc} = 330$  cm

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$I_g$ (m <sup>4</sup> )	
					Flessione semplice	Flessione composta
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	0.5655	0.5655
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	0.7027	0.7030
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	0.9001	0.9009
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	1.0375	1.0390
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	1.0375	1.0407

Il momento d'inerzia deve essere non inferiore al 50% di quello della sezione fessurata

$$0.5 I = 0.5 \frac{b_w l_w^3}{12} = 0.5 \times \frac{0.3 \times 5.5^3}{12} = 2.0797 \text{ m}^4$$

### Parete 1x (30) - piano 2

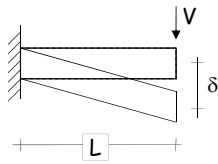
Sezione 30x550,  $l_c = 110$  cm,  $l_{nc} = 330$  cm

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$I_g$ (m <sup>4</sup> )	
					Flessione semplice	Flessione composta
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	0.5655	0.5655
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	0.7027	0.7030
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	0.9001	0.9009
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	1.0375	1.0390
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	1.0375	1.0407

Si assegna un momento d'inerzia pari al 50% di quello della sezione fessurata a tutti i piani

$$0.5 I = 0.5 \frac{b_w l_w^3}{12} = 0.5 \times \frac{0.3 \times 5.5^3}{12} = 2.0797 \text{ m}^4$$

### Area resistente a taglio



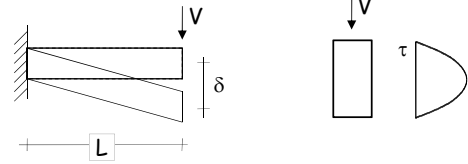
L'abbassamento dell'estremo libero può essere espresso come

$$\delta = \frac{V}{K_v} = \frac{V L}{G A_v} \quad \text{Analogo al caso dello sforzo normale}$$

$G$  = modulo di elasticità trasversale

$A_v$  = area resistente a taglio

### Area resistente a taglio



L'abbassamento dell'estremo libero può essere espresso come

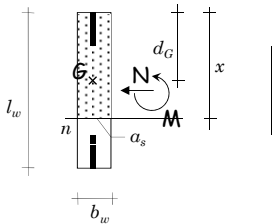
$$\delta = \frac{V}{K_v} = \frac{V L}{G A_v} \quad \text{Analogo al caso dello sforzo normale}$$

Vale:

$$A_v = \int_A \tau^2 dA$$

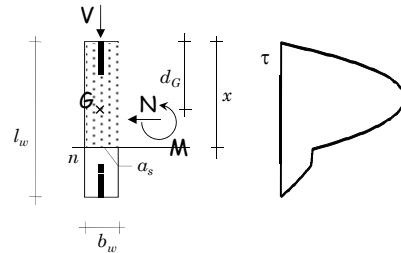
- 5/6  $A$  per la sezione rettangolare

### Parete in cemento armato



1. Determinare la posizione dell'asse neutro
2. Determinare la posizione del baricentro (sezione reagente omogeneizzata)

### Parete in cemento armato



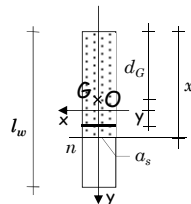
3. Costruire il diagramma delle  $\tau$  (teoria di Jouraski)

$$\tau = \frac{V S_x}{I_G b_w}$$

$S_x$  momento statico della parte di sezione al di sopra della corda rispetto al baricentro

### Momento statico del calcestruzzo

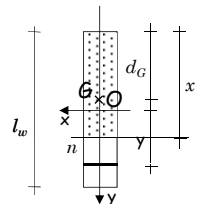
$G$  è il baricentro della sezione reagente omogeneizzata



$$S_{x,c} = b_w \left( \frac{l_w}{2} + y \right) \left( d_G - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} \right) \quad \text{per } y \leq - \left( \frac{l_w}{2} - x \right)$$

### Momento statico del calcestruzzo

$G$  è il baricentro della sezione reagente omogeneizzata



$$S_{x,c} = b_w \left( \frac{l_w}{2} + y \right) \left( d_G - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} \right) \quad \text{per } y \leq - \left( \frac{l_w}{2} - x \right)$$

$$S_{x,c} = b_w x \left( d_G - \frac{x}{2} \right) \quad \text{per } y > - \left( \frac{l_w}{2} - x \right)$$

### Momento statico dell'armatura

$G$  è il baricentro della sezione reagente omogeneizzata

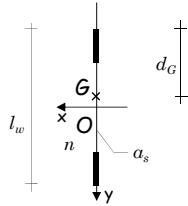
$$S_{x,s} = n a_{sc} \left( \frac{l_w}{2} + y \right) \left( d_g - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} \right) \quad \text{per } y \leq - \left( \frac{l_w}{2} - l_c \right)$$

$$S_{x,s} = n a_{sc} \left( \frac{l_w}{2} + y \right) \left( d_g - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} \right) +$$

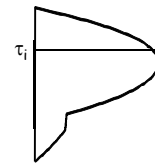
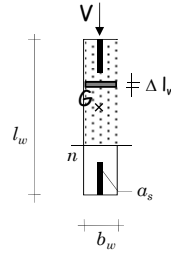
$$- n (a_{sc} - a_{snc}) \left( \frac{l_w}{2} + y - l_c \right) \left( d_g - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} - \frac{l_c}{2} \right) \quad \text{per } - \left( \frac{l_w}{2} - l_c \right) < y < \left( \frac{l_w}{2} - l_c \right)$$

$$S_{x,s} = n a_{sc} \left( \frac{l_w}{2} + y \right) \left( d_g - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} \right) +$$

$$- n (a_{sc} - a_{snc}) (l_w - 2 l_c) \left( d_g - \frac{l_w}{2} \right) \quad \text{per } y > \left( \frac{l_w}{2} - l_c \right)$$



### Parete in cemento armato



$$\tau = \frac{V S_x}{I_G b_w}$$

$$S_x = S_{x,c} + S_{x,s}$$

4. Calcolare l'area resistente a taglio  $A_v$

$$A_v = \frac{V^2}{\int_A \tau^2 dA} \quad \text{con} \quad \int_A \tau^2 dA \approx \sum \tau_i^2 b_w \Delta l_w$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550

$A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$

$A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

$N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$

Trascurando la presenza dello sforzo normale

$x = 116.6 \text{ cm} \quad (d_g = x)$

Quindi posso determinare le tensioni tangenziali

$$\tau = \frac{V S_x}{I_G b_w}$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550

$A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$

$A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

$N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$

Divido la sezione in strisce di altezza  $\Delta l_w = 5 \text{ cm}$

$$\sum \tau_i^2 b_w \Delta l_w = 67.71 \text{ kN}^2 \text{ cm}^2 \quad (\text{assumendo } V = 1000 \text{ kN})$$

Calcolo l'area resistente a taglio

$$A_v = \frac{V^2}{\int_A \tau^2 dA} = \frac{1000^2}{67.7} = 14770 \text{ cm}^2$$

Vedere foglio Excel "Sezione fessurata"

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550

$A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$

$A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

$N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$

Considerando la presenza dello sforzo normale

$x = 149.6 \text{ cm} \quad d_g = 119.4 \text{ cm}$

Determino le tensioni tangenziali

$$\tau = \frac{V S_x}{I_G b_w}$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550

$A_{sc} = 26 \phi 20, l_c = 110 \text{ cm}$

$A_{snc} = 26 \phi 12, l_{nc} = 330 \text{ cm}$

$N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 18721 \text{ kNm}$

Divido la sezione in strisce di altezza  $\Delta l_w = 5 \text{ cm}$

$$\sum \tau_i^2 b_w \Delta l_w = 67.70 \text{ kN}^2 \text{ cm}^2 \quad (\text{assumendo } V = 1000 \text{ kN})$$

Calcolo l'area resistente a taglio

$$A_v = \frac{V^2}{\int_A \tau^2 dA} = \frac{1000^2}{67.7} = 14771 \text{ cm}^2$$

Non cambia rispetto al caso di flessione semplice (14771 cm<sup>2</sup>)

Vedere foglio Excel "Sezione fessurata"

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550,  $I_c = 110 \text{ cm}$ ,  $I_{nc} = 330 \text{ cm}$

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$A_v$ (cm <sup>2</sup> )	
					Flessione semplice	Flessione composta
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	14761	14762
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	14797	14799
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	14801	14804
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	14770	14773
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	14770	14771

Le aree resistenti a taglio sono praticamente identiche nei due casi, quindi si possono utilizzare quelle relative alla flessione semplice perché è più facile calcolarle

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550,  $I_c = 110 \text{ cm}$ ,  $I_{nc} = 330 \text{ cm}$

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$A_v$ (cm <sup>2</sup> )	
					Flessione semplice	Flessione composta
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	14761	14762
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	14797	14799
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	14801	14804
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	14770	14773
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	14770	14771

L'area resistente a taglio è maggiore del 50% di quello della sezione fessurata

$$0.5 A_v = 0.5 \frac{5}{6} A = 0.5 \times \frac{30 \times 550}{1.2} = 687.5 \text{ cm}^2$$

### Parete 1x (30) - piano 2

Sezione 30x550,  $I_c = 110 \text{ cm}$ ,  $I_{nc} = 330 \text{ cm}$

Piano	$A_{sc}$	$A_{snc}$	M (kNm)	$N_{max}$ (kN)	$A_v$ (cm <sup>2</sup> )	$A_v/A$
6	12 $\phi 20$	22 $\phi 12$	8414	-418.5	14761	0.895
5	16 $\phi 20$	22 $\phi 12$	12162	-938.8	14797	0.897
4	22 $\phi 20$	22 $\phi 12$	15910	-1459.5	14801	0.897
3	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-1977.9	14770	0.895
2	26 $\phi 20$	26 $\phi 12$	18721	-2491.5	14770	0.895

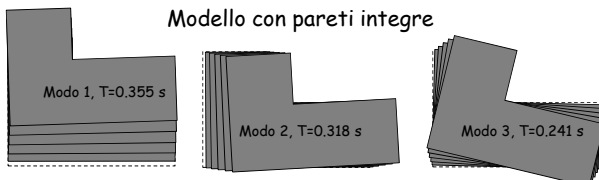
Nel modello di calcolo userò un'area resistente a taglio pari al 90% dell'area della sezione di calcestruzzo

$$0.9 A = 0.9 \times 30 \times 550 = 14850 \text{ cm}^2$$

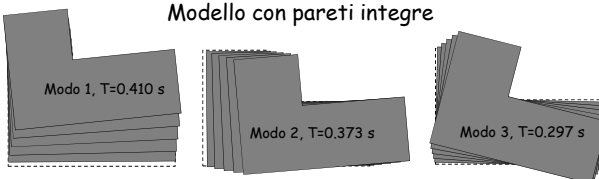
Comportamento strutturale  
con pareti fessurate

### Deformate modali

Modello con pareti integre



Modello con pareti integre



### Masse partecipanti

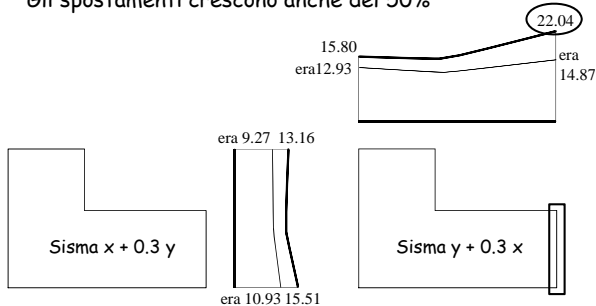
Sisma in direzione x			
Modo	1	2	3
Parete integra	0.0 %	72.7 %	1.1 %
Parete fessurata	0.23 %	72.1 %	1.5 %
Sisma in direzione y			
Modo	1	2	3
Parete integra	73.7 %	0.0 %	0.1 %
Parete fessurata	72.8 %	0.4 %	1.2 %

Il comportamento globale dovrebbe presentare una rotazione maggiore e gli spostamenti cresceranno

## Spostamenti

Per sisma y, adesso l'importanza della componente torsionale è maggiore

Gli spostamenti crescono anche del 50%



## Considerazioni

Poiché gli spostamenti sono cresciuti è opportuno rieseguire la verifica allo stato limite di danno (consideriamo il telaio 12 che subisce i massimi spostamenti)

Occorre controllare come sono cambiate le caratteristiche della sollecitazione (taglio e momento flettente) delle pareti

(il controllo è importante soprattutto per la parete 1y posta sul lato destro dell'edificio che ha subito il massimo incremento di spostamento)

## Spostamento d'interpiano per SLV telaio n. 12 (pareti fessurate)

Il massimo spostamento d'interpiano si riscontra ancora al quinto piano

Piano	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	SismaX	SismaY	Y+0.3X
6	0.664	4.398	0.391	0.575	1.055	4.973	5.290
5	0.674	4.473	0.392	0.577	1.066	5.050	5.370
4	0.628	4.205	0.363	0.534	0.991	4.739	5.036
3	0.497	3.386	0.285	0.419	0.782	3.805	4.040
2	0.261	1.900	0.146	0.215	0.407	2.115	2.237

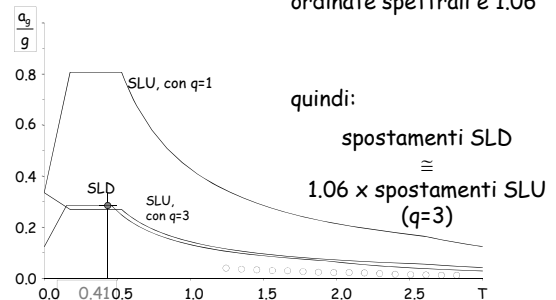
$$\text{SismaX} = Fx + M(Fx)$$

$$\text{SismaY} = Fy + M(Fy)$$

$$\text{Sisma} = \text{SismaY} + 0.3 \text{ SismaX}$$

## Spettri per SLU e SLD

per un periodo pari a circa 0.41 s il rapporto tra le ordinate spettrali è 1.06



quindi:

spostamenti SLD

$\equiv$  1.06 x spostamenti SLU (q=3)

## Verifica spostamenti per SLD

Spostamento relativo accettabile: 0.005 h

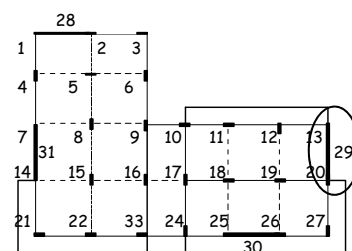
Nel caso in esame:  $0.005 \times 3200 = 16 \text{ mm}$

Spostamento relativo massimo, fornito dall'analisi:  $1.06 \times 5.4 = 5.7 \text{ mm}$  (al penultimo piano)

La verifica è ancora ampiamente soddisfatta e lo spostamento relativo rimane ben inferiore a quello dell'edificio con struttura intelaiata (9.6 mm)

## Cosa cambia per la parete 2y (29)

Controllo la parete posizionata sul lato con il massimo incremento di spostamento





### Taglio parete 2y (29) Effetto compressivo del sisma

Modello con pareti integre

Piano	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	SismaX	SismaY	X+0.3Y	Progetto
6	19.3	46.1	249.0	20.4	30.1	66.5	279.1	299.0	1308.2
5	13.3	96.9	614.2	48.1	70.8	145.1	685.0	728.5	1302.2
4	14.0	129.4	868.0	67.0	98.6	196.5	966.6	1025.5	1552.3
3	13.9	162.0	1087.1	81.0	119.2	243.0	1206.3	1279.2	1932.6
2	-2.7	213.9	1493.7	90.7	133.5	304.6	1627.2	1718.5	2580.5

Modello con pareti fessurate

Piano	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	SismaX	SismaY	X+0.3Y	Progetto
6	29.0	42.2	180.9	15.8	23.2	58.0	204.1	221.5	1302.9
5	20.7	87.8	521.4	44.9	66.0	132.6	587.4	627.2	1294.5
4	21.0	119.4	743.3	64.0	94.2	183.4	837.5	892.5	1359.8
3	20.6	147.9	929.2	78.7	115.8	226.6	1045.0	1113.0	1690.1
2	-2.6	183.1	1485.0	89.5	131.7	272.6	1616.7	1698.5	2550.3

### Taglio parete 2y (29) Effetto compressivo del sisma

Piano	Par. integre (1)	Par. fessurate (2)	Rapporto (2/1)
6	1308.2 kN	1302.9 kN	0.996
5	1302.2 kN	1294.5 kN	0.994
4	1552.3 kN	1359.8 kN	0.876
3	1932.6 kN	1690.1 kN	0.875
2	2580.5 kN	2550.3 kN	0.988

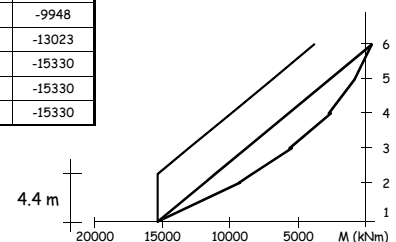
I valori del taglio della parete ottenuti con i due modelli sono simili (la differenza è variabile tra zero ed il 12%)

### Momento flettente parete 2y (29) - integra schemi di carico base

	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	Sisma X	Sisma Y	Sis.X+0.3SisY
6	128	37	255	21	30	57	285	303
5	66	-130	-624	-45	-66	-175	-690	-742
5	218	122	-520	-21	-30	-143	-550	-593
4	175	-353	-2143	-175	-257	-527	-2400	-2558
4	328	-320	-1887	-152	-224	-472	-2111	-2253
3	283	-672	-4476	-367	-539	-1039	-5015	-5327
3	436	-639	-4233	-347	-511	-986	-4744	-5039
2	392	-1095	-7537	-606	-892	-1702	-8429	-8940
2	547	-1072	-7369	-594	-873	-1665	-8243	-8742
1	557	-1781	-12609	-920	-1354	-2701	-13963	-14773

### Parete 2y (29) - fessurata Momento flettente di progetto

Piano	Involuppo	Lineare	Traslato
6	431	431	-3499
5	-811	-2644	-6873
4	-2733	-5720	-9948
3	-5610	-8795	-13023
4.4 m		-11101	-15330
2	-9332	-11870	-15330
1	-15330	-15330	-15330



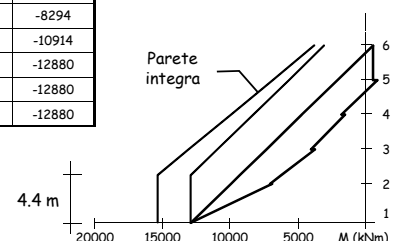
### Momento flettente parete 2y (29) - fessurata schemi di carico base

	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	Sisma X	Sisma Y	Sis.X+0.3SisY
6	116	55	362	32	47	87	409	436
5	24	119	445	-18	-27	138	472	513
5	162	133	621	20	30	154	651	697
4	96	-272	-1395	-123	-181	-395	-1577	-1695
4	237	-231	-1065	-87	-128	-318	-1193	-1288
3	170	-526	-3172	-292	-429	-817	-3601	-3847
3	314	-474	-2808	-259	-382	-734	-3190	-3410
2	248	-886	-5621	-511	-752	-1397	-6374	-6793
2	397	-849	-5360	-490	-721	-1339	-6081	-6483
1	407	-1452	-10600	-812	-1195	-2264	-11794	-12474

### Parete 2y (29) - fessurata Momento flettente di progetto

Piano	Involuppo	Lineare	Traslato
6	552	552	-3052
5	537	-2069	-5673
4	-1791	-4690	-8294
3	-4017	-7311	-10914
4.4 m		-9276	-12880
2	-7040	-9932	-12880
1	-12880	-12880	-12880

Il momento è ovunque minore di circa il 15% nell'esempio



## Considerazioni

Poiché la rigidezza delle pareti è minore nel modello con pareti fessurate le sollecitazioni sismiche assorbite dalla parete si riducono. La riduzione è:

- uniforme per il momento flettente (circa il 15% nell'esempio)
- variabile per il taglio (tra zero ed il 12% per la parete considerata)

Domanda

Se l'effetto del sisma sulle pareti si riduce per effetto della fessurazione, cosa succede a travi e pilastri?