

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

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

14 - Influenza della fessurazione delle pareti

Spoletto
10-11 maggio 2012
Aurelio Ghersi

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

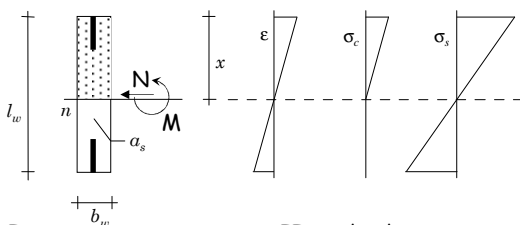
Per rappresentare la rigidità degli elementi strutturali si possono adottare modelli lineari, che trascurano le non linearità di materiale e geometriche, e modelli non lineari, che le considerano; in ambo i casi si deve tener conto della fessurazione dei materiali fragili. In caso non siano effettuate 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

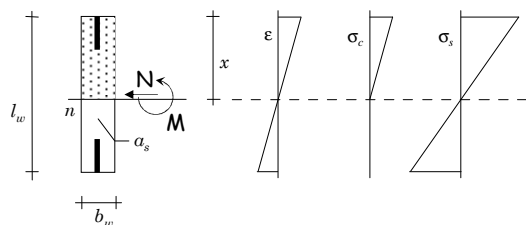
Sezione fessurata



Ipotesi: II stadio di comportamento

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

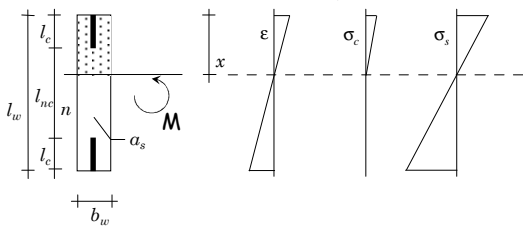
Asse neutro



Per trovare l'asse neutro si procede diversamente per:

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

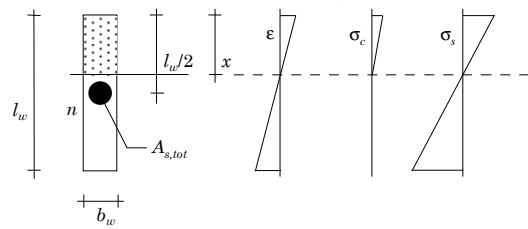
Asse neutro (flessione semplice)



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

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

Asse neutro (flessione semplice)

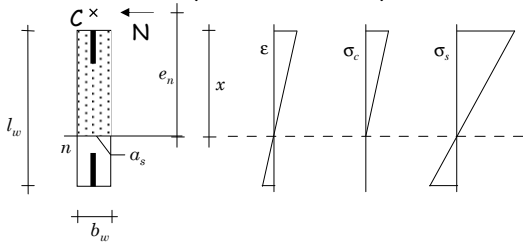


L'asse neutro è baricentrico: $S_n = 0$

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

... che fornisce x

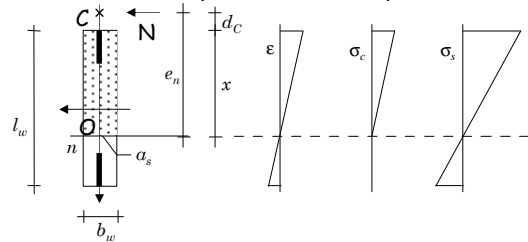
Asse neutro (flessione composta - sezione parzializzata)



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:

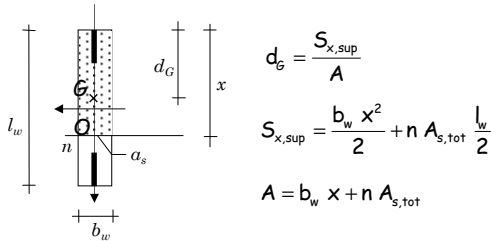
$$S_n = \frac{b_w x^2}{2} + n A_{s,tot} x + \frac{1}{2} n A_{s,tot} l_w$$

Sostituendo tutto nella condizione $S_n e_n = I_n$



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

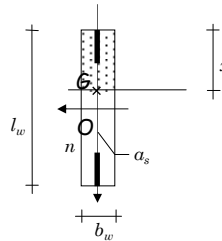
Momento d'inerzia rispetto al baricentro



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

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

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

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

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

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 m^4)

Vedere foglio Excel "Sezione fessurata"

Parete 1x (30) - piano 2

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

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, $l_c = 110 \text{ cm}$, $l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Piano	A_{sc}	A_{snc}	M (kNm)	N_{max} (kN)	I_g (m ⁴)	
					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, $l_c = 110 \text{ cm}$, $l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Piano	A_{sc}	A_{snc}	M (kNm)	N_{max} (kN)	I_g (m ⁴)	
					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, $l_c = 110 \text{ cm}$, $l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Piano	A_{sc}	A_{snc}	M (kNm)	N_{max} (kN)	I_g (m ⁴)	
					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

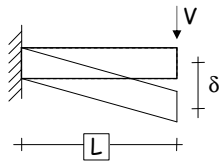
Sezione 30x550, $l_c = 110 \text{ cm}$, $l_{nc} = 330 \text{ cm}$

Piano	A_{sc}	A_{snc}	M (kNm)	N_{max} (kN)	I_g (m ⁴)	
					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



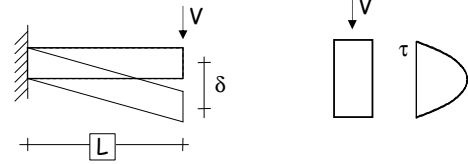
L'abbassamento dell'estremo libero può essere espresso come

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

G = modulo di elasticità trasversale

A_v = area resistente a taglio

Area resistente a taglio



L'abbassamento dell'estremo libero può essere espresso come

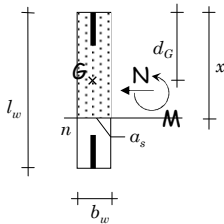
$$\delta = \frac{V}{K_v} = \frac{V L}{G A_v} \quad \text{Analogo al caso dello sforzo normale}$$

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

Vale:

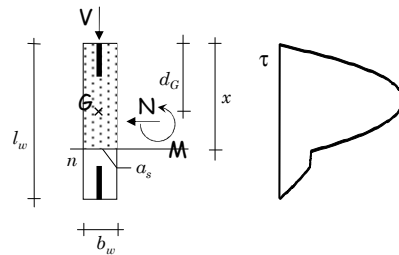
- $5/6 A$ per la sezione rettangolare
- A per τ costante

Parete in cemento armato



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

Parete in cemento armato



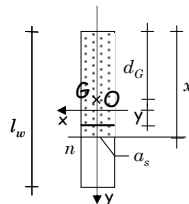
3. Costruire il diagramma delle τ (teoria di Jouraski)

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

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

Momento statico del calcestruzzo

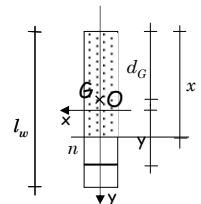
G è il baricentro della sezione reagente omogeneizzata



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

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

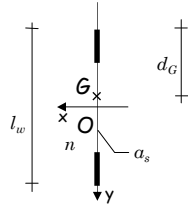
$$S_{x,s} = n a_{sc} \left(\frac{l_w}{2} + y \right) \left(d_b - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} \right) \quad \text{per } y \leq - \left(\frac{l_w}{2} - l_c \right)$$

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

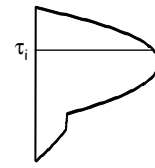
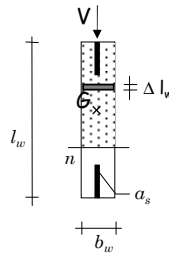
$$- n (a_{sc} - a_{snc}) \left(\frac{l_w}{2} + y - l_c \right) \left(d_b - \frac{l_w}{4} - \frac{y}{2} - \frac{l_c}{2} \right) \quad \text{per } - \left(\frac{l_w}{2} - l_c \right) < y < \left(\frac{l_w}{2} - l_c \right)$$

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

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



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 cm²)

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 ²)	
					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 ²)	
					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

$$0.5 A_v = 0.5 \frac{5}{6} A = 0.5 \times \frac{30 \times 550}{1.2} = 6875 \text{ cm}^2$$

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 ²)	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

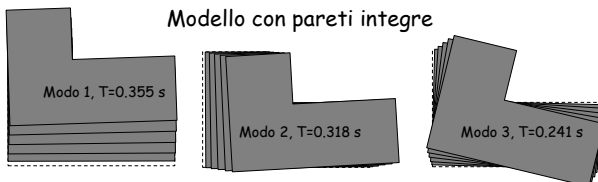
Nel modello di calcolo userò un'area resistente a taglio pari al 90% dell'area della sezione di calcestruzzo

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

Comportamento strutturale
con pareti fessurate

Deformate modali

Modello con pareti integre



Modello con pareti fessurate



Masse partecipanti

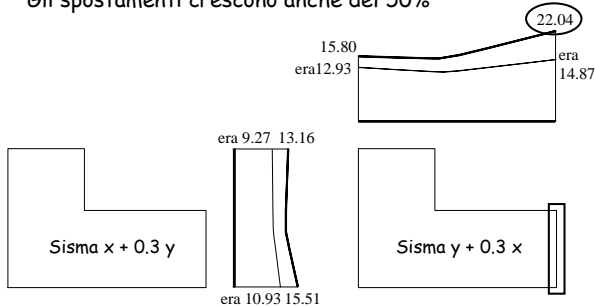
Sisma in direzione x			
Modo	1	2	3
Parete integra	0.0 %	72.7 %	1.1 %
Parete fessurata	0.23 %	72.1 %	1.5 %
Sisma in direzione y			
Modo	1	2	3
Parete integra	73.7 %	0.0 %	0.1 %
Parete fessurata	72.8 %	0.4 %	1.2 %

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

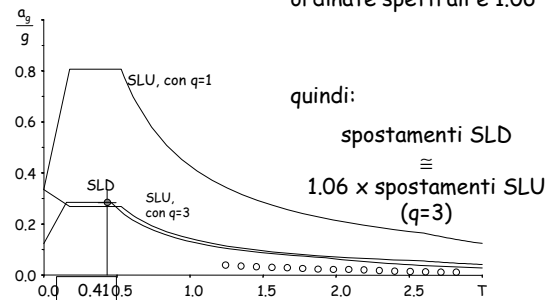
$$\text{SismaX} = Fx + M(Fx)$$

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

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

Spettri per SLU e SLD

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



Verifica spostamenti per SLD

Spostamento relativo accettabile: 0.005 h

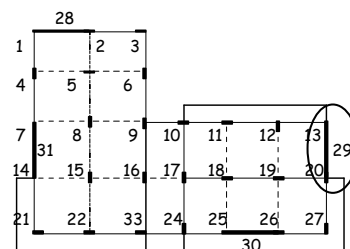
Nel caso in esame: $0.005 \times 3200 = 16 \text{ mm}$

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

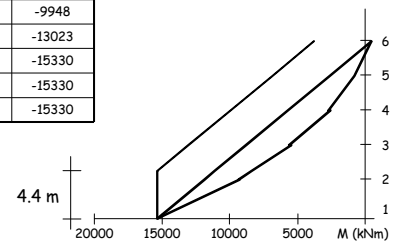
I valori del taglio della parete ottenuti con i due modelli sono simili (la differenza è variabile tra zero ed il 12%)

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	Inviluppo	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



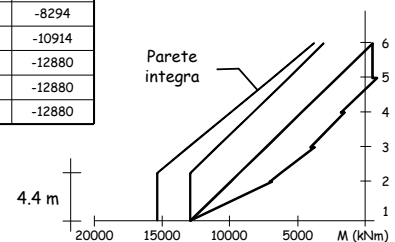
Momento flettente parete 2y (29) - fessurata schemi di carico base

	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	Inviluppo	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?