

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

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

11 - Combinazioni di carico e calcolo delle armature delle pareti

Spoletto
10-11 maggio 2012
Aurelio Ghersi

Processo progettuale

- ✓ 1. Concezione generale della struttura, nel rispetto di principi base di buona progettazione
- ✓ 2. Impostazione della carpenteria dell'edificio
- ✓ 3. Dimensionamento delle sezioni e verifica di massima della struttura
- ✓ 4. Analisi strutturale dettagliata e verifica del comportamento della struttura
5. Definizione delle armature

Processo progettuale tradizionale



Progetto delle pareti

Le pareti hanno un comportamento duttile se si plasticizzano a flessione

↓
L'armatura a flessione alla pareti deve essere definita
in base ai risultati del calcolo

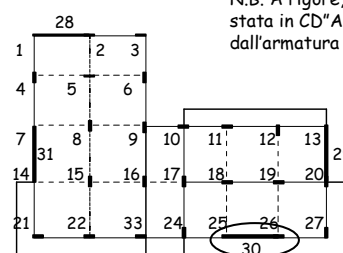
↓
Attraverso il criterio di gerarchia delle resistenze si:

- definisce l'armatura a taglio
- esegue la verifica allo scorrimento

Definizione delle armature - pareti

Primo passo armatura a taglio delle pareti

Si esamina come esempio la parete 1x (corrispondente all'asta 30) che è la maggiormente sollecitata



N.B. A rigore, se la struttura fosse stata in Cd'A" bisognava partire dall'armatura a flessione

Parete 1x (30) Taglio per schemi di carico base

Non considero la condizione con soli carichi verticali

Piano	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
6	3.9	425.0	56.4	18.4	27.1
5	-0.6	904.9	60.5	42.4	62.4
4	0.3	1256.2	62.0	60.6	89.1
3	0.9	1549.7	55.2	73.5	108.2
2	8.8	1944.7	-50.1	76.7	112.8

Parete 1x (30) Effetto complessivo del sisma

Piano	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	SismaX	SismaY	X+0.3Y
6	3.9	425.0	56.4	18.4	27.1	443.4	83.5	468.4
5	-0.6	904.9	60.5	42.4	62.4	947.4	122.9	984.2
4	0.3	1256.2	62.0	60.6	89.1	1316.7	151.1	1362.0
3	0.9	1549.7	55.2	73.5	108.2	1623.2	163.4	1672.2
2	8.8	1944.7	-50.1	76.7	112.8	2021.4	162.9	2070.2

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

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

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

Parete 1x (30) Effetto complessivo del sisma

Piano	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	SismaX	SismaY	X+0.3Y	Progetto
6	3.9	425.0	56.4	18.4	27.1	443.4	83.5	468.4	706.6
5	-0.6	904.9	60.5	42.4	62.4	947.4	122.9	984.2	1477.0
4	0.3	1256.2	62.0	60.6	89.1	1316.7	151.1	1362.0	2043.4
3	0.9	1549.7	55.2	73.5	108.2	1623.2	163.4	1672.2	2509.2
2	8.8	1944.7	-50.1	76.7	112.8	2021.4	162.9	2070.2	3114.2

Per CD"B" - Sisma x 1.5

+

q_{min}

Gerarchia delle resistenze

Il taglio sismico dei piani superiori ($z > h_w/3$) deve essere non inferiore al 50% di quello alla base

Parete 1x (30) Effetto complessivo del sisma

Piano	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	SismaX	SismaY	X+0.3Y	Progetto
6	3.9	425.0	56.4	18.4	27.1	443.4	83.5	468.4	1556.6
5	-0.6	904.9	60.5	42.4	62.4	947.4	122.9	984.2	1553.3
4	0.3	1256.2	62.0	60.6	89.1	1316.7	151.1	1362.0	2043.4
3	0.9	1549.7	55.2	73.5	108.2	1623.2	163.4	1672.2	2509.2
2	8.8	1944.7	-50.1	76.7	112.8	2021.4	162.9	2070.2	3114.2

Per CD"B" - Sisma x 1.5

+

q_{min}

Il taglio sismico dei piani superiori ($z > h_w/3$) deve essere non inferiore al 50% di quello alla base

Gerarchia delle resistenze

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura orizzontale

Alla base: $V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$ CD"B", $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$$\frac{A_{sh}}{s_h} = \frac{V_{Ed}}{0.8 l_w f_{yd} \cot \theta}$$

Grande per $\cot \theta = 1$

$$\cot \theta = 1 \quad \frac{A_{sh}}{s_h} = 18.1 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \rho_h = 0.60\%$$

Staffe $\phi 12/12.5$

$$\cot \theta = 2 \quad \frac{A_{sh}}{s_h} = 9.0 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \rho_h = 0.30\%$$

Staffe $\phi 12/25$

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{b_w s_h} \geq 0.2\%$$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.4

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura orizzontale

Alla base: $V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$ CD"B", $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$$\frac{A_{sh}}{s_h} = \frac{V_{Ed}}{0.8 l_w f_{yd} \cot \theta}$$

Grande per $\cot \theta = 1$

$$\cot \theta = 1 \quad \frac{A_{sh}}{s_h} = 18.1 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \text{Staffe } \phi 12/12.5$$

$\rho_h = 0.60\%$

$$\cot \theta = 2 \quad \frac{A_{sh}}{s_h} = 9.0 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \text{Staffe } \phi 12/25$$

$\rho_h = 0.30\%$

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{b_w s_h} \geq 0.2\%$$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.4

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura verticale

Alla base: $V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$ CD"B", $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$$\frac{A_{sv}}{s_v} = \frac{V_{Ed} \cot \theta}{0.6 l_w f_{yd}} \quad \text{Sempre molto grande}$$

$$\cot \theta = 1 \quad \frac{A_{sv}}{s_v} = 24.1 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad 2 \phi 16 / 16.7$$

$$\rho_v = 0.80\%$$

$$\cot \theta = 2 \quad \frac{A_{sv}}{s_v} = 48.2 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad 2 \phi 16 / 8.3$$

$$\rho_v = 1.6\%$$

$$\rho_v = \frac{A_{sv}}{b_w s_v} \geq 0.2\%$$

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.6.2.4

Parete 1x (30) Verifica della sezione in cls

Alla base: $V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$ CD"B", $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$$V_{Rcd} = 0.8 l_w b_w f_{cd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$\cot \theta = 1 \quad V_{Rcd} = 4686.0 \text{ kN}$$

$$\cot \theta = 2 \quad V_{Rcd} = 3748.8 \text{ kN}$$

Entrambi i valori sono accettabili

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a taglio

Quale valore per $\cot \theta$?

Sempre molto grande

$$\cot \theta = 1 \quad \rho_h = 0.6\% \quad \rho_v = 0.8\%$$

$$\text{Staffe } \phi 12 / 12.5 \quad 2 \phi 16 / 16.7$$

$$\cot \theta = 2 \quad \rho_h = 0.3\% \quad \rho_v = 1.6\%$$

$$\text{Staffe } \phi 12 / 25 \quad 2 \phi 16 / 8.3$$

Metto l'armatura verticale minima

$$\rho_v = 0.2\% \quad \frac{A_{sv}}{s_v} = 6.0 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad 2 \phi 12 / 37.5$$

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a taglio

Quale valore per $\cot \theta$?

Sempre molto grande

$$\cot \theta = 1 \quad \rho_h = 0.6\% \quad \rho_v = 0.8\%$$

$$\text{Staffe } \phi 12 / 12.5 \quad 2 \phi 16 / 16.7$$

$$\cot \theta = 2 \quad \rho_h = 0.3\% \quad \rho_v = 1.6\%$$

$$\text{Staffe } \phi 12 / 25 \quad 2 \phi 16 / 8.3$$

Metto l'armatura verticale minima

$$\rho_v = 0.3\% \quad \frac{A_{sv}}{s_v} = 9.0 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad 2 \phi 12 / 25$$

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a taglio

Quale valore per $\cot \theta$?

Sempre molto grande

$$\cot \theta = 1 \quad \rho_h = 0.6\% \quad \rho_v = 0.8\%$$

$$\text{Staffe } \phi 12 / 12.5 \quad 2 \phi 16 / 16.7$$

$$\cot \theta = 2 \quad \rho_h = 0.3\% \quad \rho_v = 1.6\%$$

$$\text{Staffe } \phi 12 / 25 \quad 2 \phi 16 / 8.3$$

Metto l'armatura verticale minima, dovrò traslare il diagramma del momento

Scelgo $\cot \theta = 2$

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a taglio

Piano	V_{Ed} (kN)	$\cot \theta$	A_{sh}/s (cm ² /m)	ρ_h	Staffe	A_{sv}/s (cm ² /m)	ρ_v	Arm. long.	V_{Rcd} (kN)
6	1556.6	2.0	4.52	0.15%	$\phi 12 / 50$				
5	1553.3	2.0	4.51	0.15%	$\phi 12 / 50.1$				
4	2043.4	2.0	5.93	0.20%	$\phi 12 / 38.1$				
3	2509.2	2.0	7.29	0.24%	$\phi 12 / 31$				
2	3114.2	2.0	9.0	0.30%	$\phi 12 / 25$	9.0	0.30%	2 $\phi 12 / 25$	3748.8

L'armatura si riduce parecchio ai piani superiori, ma deve essere:

$$\rho_h \geq 0.2\%$$

$$s_h \leq 30 \text{ cm}$$

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a taglio

Piano	V_{Ed} (kN)	$\cot \theta$	A_{sh}/s (cm ² /m)	ρ_h	Staffe	A_{sv}/s (cm ² /m)	ρ_v	Arm. long.	V_{Rcd} (kN)
6	1556.6	2.0	7.5	0.25%	$\phi 12/30$	7.5	0.25%	2 $\phi 12/30$	3748.8
5	1553.3	2.0	7.5	0.25%	$\phi 12/30$	7.5	0.25%	2 $\phi 12/30$	3748.8
4	2043.4	2.0	7.5	0.25%	$\phi 12/30$	7.5	0.25%	2 $\phi 12/30$	3748.8
3	2509.2	2.0	9.0	0.30%	$\phi 12/28$	9.0	0.30%	2 $\phi 12/25$	3748.8
2	3114.2	2.0	9.0	0.30%	$\phi 12/25$	9.0	0.30%	2 $\phi 12/25$	3748.8

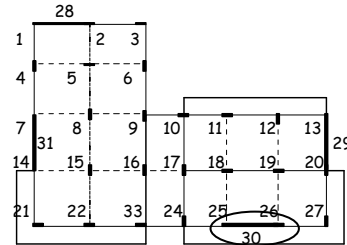
L'armatura si riduce parecchio ai piani superiori, ma deve essere:

$$\rho_h \geq 0.2\% \quad \rho_v \geq 0.2\%$$

$$s_h \leq 30 \text{ cm} \quad s_v \leq 30 \text{ cm}$$

Secondo passo armatura a flessione delle pareti

Si esamina come esempio la parete 1x (corrispondente all'asta 30) che è la maggiormente sollecitata



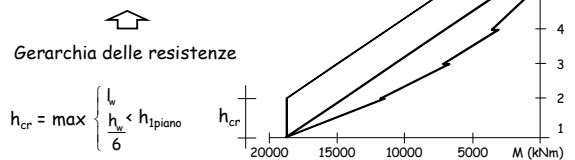
Parete 1x (30) momento flettente per schemi di carico base

Si parte dall'involuppo dei momenti flettenti

	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	Sisma X	Sisma Y	SisX+0.3SisY
6	-3	451	28	22	32	472	60	491
5	-15	-1012	-153	-37	-54	-1049	-208	-1111
5	-16	-763	-123	-11	-17	-774	-140	-816
4	-14	-3226	-312	-147	-216	-3373	-528	-3532
4	-21	-2769	-285	-122	-180	-2892	-465	-3031
3	-22	-6519	-477	-316	-465	-6835	-942	-7118
3	-36	-6091	-455	-295	-434	-6386	-890	-6653
2	-39	-10791	-620	-531	-781	-11322	-1401	-11742
2	-66	-10502	-608	-517	-761	-11019	-1369	-11429
1	-98	-17293	-624	-793	-1167	-18086	-1791	-18623

Parete 1x (30) momento flettente di progetto

- Si parte dall'involuppo dei momenti flettenti
- In campo non lineare l'involuppo dei momenti è approssimativamente lineare
- Il diagramma involucro va traslato verso l'alto

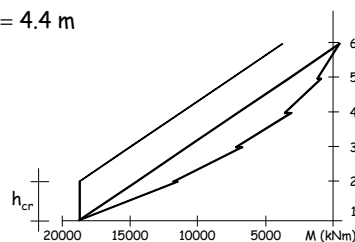


Parete 1x (30) momento flettente di progetto

Ma bisogna traslare anche per assorbire la forza longitudinale di trazione che nasce per effetto del taglio di:

$$\frac{z}{2} \cot \theta = \frac{0.8 l_w}{2} \times 2 = 4.4 \text{ m}$$

$$h_{cr} = h_{1piano} = 3.6 \text{ m}$$

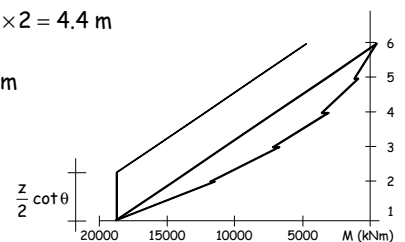


Parete 1x (30) momento flettente di progetto

Ma bisogna traslare anche per assorbire la forza longitudinale di trazione che nasce per effetto del taglio di:

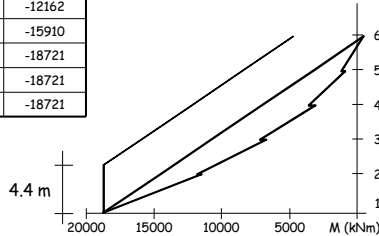
$$\frac{z}{2} \cot \theta = \frac{0.8 l_w}{2} \times 2 = 4.4 \text{ m}$$

$$h_{cr} = h_{1piano} = 3.6 \text{ m}$$



Parete 1x (30) Momento flettente di progetto

Piano	Involuppo	Lineare	Traslato
6	488	488	-4666
5	-1126	-3260	-8414
4	-3546	-7008	-12162
3	-7140	-10756	-15910
4.4 m		-13567	-18721
2	-11781	-14504	-18721
1	-18721	-18721	-18721



Parete 1x (30) Sforzo normale per schemi di carico base

	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	Sisma X	Sisma Y	Sis.X+0.3SisY
6	-267.2	-11.8	18.3	0.3	0.4	12.1	18.7	-17.7
5	-603.4	-19.5	42.8	1.0	1.4	20.5	44.3	-33.7
4	-939.6	-28.1	65.9	1.6	2.3	29.7	68.3	-50.2
3	-1275.7	-35.5	86.3	2.1	3.1	37.5	89.4	-64.3
2	-1611.9	-40.1	100.2	2.4	3.5	42.5	103.8	-73.6

L'effetto del sisma è trascurabile

Parete 1x (30) Sforzo normale per schemi di carico base

	q min	1.5 q _{min}	0.5 q _{min}	N _{min}	N _{max}
6	-267.2	-400.8	-133.6	-418.5	-115.9
5	-603.4	-905.1	-301.7	-938.8	-268.0
4	-939.6	-1409.3	-469.8	-1459.5	-419.6
3	-1275.7	-1913.6	-637.9	-1977.9	-573.5
2	-1611.9	-2417.8	-805.9	-2491.5	-732.3

Si combina col
sisma nel modo più
sfavorevole

Se il fattore di struttura q è superiore a 2, si deve tener conto delle forze assiali dinamiche aggiuntive che si generano nelle pareti per effetto dell'apertura e chiusura di fessure orizzontali e del sollevamento dal suolo. In assenza di più accurate analisi essa può essere assunta pari al $\pm 50\%$ della forza assiale dovuta ai carichi verticali in condizioni sismiche.

NTC 08 (D.M. 14/1/08), punto 7.4.4.5.1

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a flessione

Piano	M (kNm)	N _{max} (kN)	N _{min} (kN)
6	-8414	-418.5	-115.9
5	-12162	-938.8	-268.0
4	-15910	-1459.5	-419.6
3	-18721	-1977.9	-573.5
2	-18721	-2491.5	-732.3

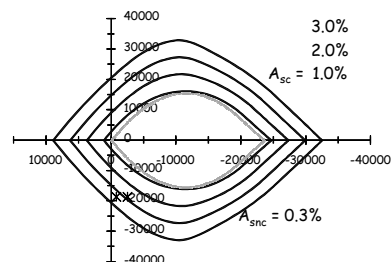
Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a flessione

Alla base: $M_{Ed} = -18721 \text{ kNm}$ $N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$
 $N_{min} = -732.3 \text{ kN}$

Nella zona centrale della parete è stata già disposta un'armatura (0.30%) che porta parte del momento flettente, dunque l'armatura delle zone confinate di estremità verrà calcolata per portare la rimanente parte di momento flettente

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a flessione

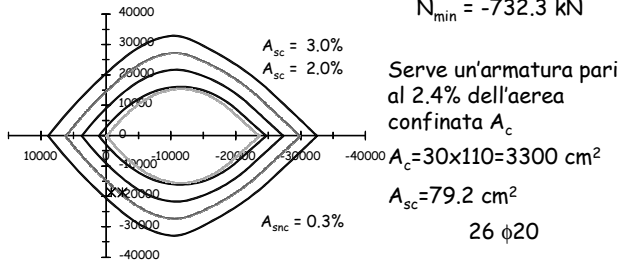
Alla base: $M_{Ed} = -18721 \text{ kNm}$ $N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$
 $N_{min} = -732.3 \text{ kN}$



Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a flessione

Alla base: $M_{Ed} = -18721 \text{ kNm}$

$N_{max} = -2491.5 \text{ kN}$
 $N_{min} = -732.3 \text{ kN}$

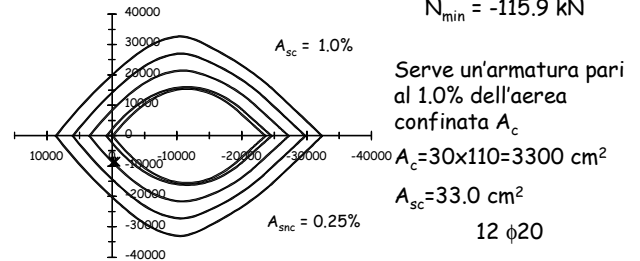


Si potrebbe ridurre aumentando l'armatura del tratto centrale

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a flessione

Al piano 6: $M_{Ed} = -8414 \text{ kNm}$

$N_{max} = -418.5 \text{ kN}$
 $N_{min} = -115.9 \text{ kN}$



Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a flessione

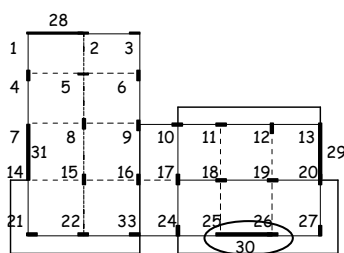
Piano	M (kNm)	N_{max} (kN)	N_{min} (kN)	A_{snc} % $A_{c,conf}$	A_{snc} (cm ²)	A_{sc} % $A_{c,conf}$	A_{sc} (cm ²)
6	-8414	-418.5	-115.9	0.25%	24.75	1.0%	33.0
5	-12162	-938.8	-268.0	0.25%	24.75	1.5%	49.5
4	-15910	-1459.5	-419.6	0.25%	24.75	2.1%	69.3
3	-18721	-1977.9	-573.5	0.30%	29.70	2.4%	79.2
2	-18721	-2491.5	-732.3	0.30%	29.70	2.4%	79.2

Parete 1x (30) Progetto dell'armatura a flessione

Piano	M (kNm)	N_{max} (kN)	N_{min} (kN)	A_{snc} % $A_{c,conf}$	A_{snc} (cm ²)	A_{sc} barre	A_{sc} (cm ²)
6	-8414	-418.5	-115.9	0.25%	24.75	12 $\phi 20$	37.7
5	-12162	-938.8	-268.0	0.25%	24.75	16 $\phi 20$	50.3
4	-15910	-1459.5	-419.6	0.25%	24.75	22 $\phi 20$	69.1
3	-18721	-1977.9	-573.5	0.30%	29.70	26 $\phi 20$	81.7
2	-18721	-2491.5	-732.3	0.30%	29.70	26 $\phi 20$	81.7

Terzo passo verifica allo scorrimento delle pareti

Si esamina come esempio la parete 1 (corrispondente all'asta 30) che è la maggiormente sollecitata



Parete 1x (30) verifica allo scorrimento

Alla base: $V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$

$N_{Ed} = -732.3 \text{ kN}$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = V_{dd} + \cancel{V_{id}} + V_{fd}$$

V_{dd} : Resistenza per effetto spinotto

V_{id} : Resistenza a taglio di eventuali barre diagonali

V_{fd} : Resistenza per attrito

Non ci sono barre diagonali

Parete 1x (30)

Effetto spinotto

$$V_{dd} = \min \left\{ \begin{aligned} 1.3 \sum A_{sj} \sqrt{f_{cd} f_{yd}} &= 1.3 \times 192.8 \times \sqrt{14.2 \times 391.3} / 10 = \\ &= \boxed{1865.8 \text{ kN}} \\ 0.25 f_{yd} \sum A_{sj} &= 0.25 \times 391.3 \times 192.8 / 10 = \\ &= 1885.8 \text{ kN} \end{aligned} \right.$$

$$A_{snc} = 29.4 \text{ cm}^2 \quad 26 \text{ } \phi 12 (\phi 12/25)$$

$$A_{sc} = 163.4 \text{ cm}^2 \quad 52 \text{ } \phi 20$$

$$V_{dd} = 1865.8 \text{ kN}$$

Parete 1x (30)

Resistenza per attrito

$$V_{fd} = \min \left\{ \begin{aligned} 0.5 \eta f_{cd} \xi l_w b_w \quad \eta &= 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0.54 \\ \mu_f [A_{sj,c} f_{yd} + N_c] \quad \mu_f &= 0.6 \end{aligned} \right.$$

Considero solo l'armatura delle zone confinate ed assumo A_{sj} pari ad una frazione di A_{sc} :

$$A_{sc} = 81.7 \text{ cm}^2 \quad 26 \text{ } \phi 20 \quad \text{per ciascun lato}$$

Parete 1x (30)

Resistenza per attrito

$$V_{fd} = \min \left\{ \begin{aligned} 0.5 \eta f_{cd} \xi l_w b_w &= 0.5 \times 0.54 \times 14.2 \times 0.168 \times \\ &\quad \times 550 \times 30 \times 10^{-1} = \boxed{1057.7 \text{ kN}} \\ \mu_f \left[A_{sc} f_{yd} \frac{x}{l_{wc}} + N_c \right] &= 0.6 \times (81.7 \times 391.3 \frac{92.2}{110} \times 10^{-1} + \\ &\quad + 3171.3) = 3509.7 \text{ kN} \end{aligned} \right.$$

Si determina:

$$\xi = \frac{x}{l_w} = \frac{92.2}{550} = 0.168$$

$$V_{fd} = 1057.7 \text{ kN}$$

$$N_c = 3171.3 \text{ kN}$$

Parete 1x (30)

verifica allo scorrimento

$$\text{Alla base: } V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -732.3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = V_{dd} + V_{fd} = 1865.8 + 1057.7 = 2923.5 \text{ kN}$$

La verifica non è soddisfatta

Come intervenire?

Parete 1x (30)

verifica allo scorrimento

Bisogna incrementare la resistenza allo scorrimento

$$\Delta V_{Rd} = V_{Ed} - V_{Rd} = 3114.2 - 2923.5 = 190.7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = V_{dd} + V_{fd}$$

... ma su quale parte di V_{Rd} intervenire?

Parete 1x (30)

Resistenza per attrito

$$V_{fd} = \min \left\{ \begin{aligned} 0.5 \eta f_{cd} \xi l_w b_w &= \boxed{1057.7 \text{ kN}} \\ \mu_f \left[A_{sj,c} f_{yd} \frac{x}{l_{wc}} + N_c \right] &= 3509.7 \text{ kN} \end{aligned} \right.$$

Per incrementare la V_{fd} bisogna aumentare le dimensioni della sezione

Se voglio lasciare invariata la sezione allora devo intervenire su V_{dd}

Parete 1x (30)

Effetto spinotto

$$V_{dd} = \min \begin{cases} 1.3 \sum A_{sj} \sqrt{f_{cd} f_{yd}} = \boxed{1865.8 \text{ kN}} \\ 0.25 f_{yd} \sum A_{sj} = 1885.8 \text{ kN} \end{cases}$$

Per incrementare la V_{dd} bisogna aumentare l'armatura

$$\sum A_{sj} = \frac{\Delta V_{Rd}}{1.3 \sqrt{f_{cd} f_{yd}}} = \frac{190.7 \times 10}{1.3 \sqrt{14.2 \times 391.3}} = 19.7 \text{ cm}^2$$

Preferisco aumentare l'armatura di parete per non aumentare il momento resistente (criterio di gerarchia delle resistenze)

Parete 1x (30)

effetto spinotto

$$V_{dd} = \min \begin{cases} 1.3 \sum A_{sj} \sqrt{f_{cd} f_{yd}} = \boxed{1865.8 \text{ kN}} \\ 0.25 f_{yd} \sum A_{sj} = 1885.8 \text{ kN} \end{cases}$$

Per incrementare la V_{dd} bisogna aumentare l'armatura

$$\sum A_{sj} = \frac{\Delta V_{Rd}}{1.3 \sqrt{f_{cd} f_{yd}}} = \frac{76.8 \times 10}{1.3 \sqrt{14.2 \times 391.3}} = 19.7 \text{ cm}^2$$

Aggiungo 18 $\phi 12$ all'armatura verticale di parete che diventa

$$A_{sw} = 49.8 \text{ cm}^2 \quad 44 \phi 12 (\phi 12/15)$$

Parete 1x (30)

verifica allo scorrimento

Alla base: $V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$ $N_{Ed} = -732.3 \text{ kN}$

$$V_{dd} = \min \begin{cases} 1.3 \sum A_{sj} \sqrt{f_{cd} f_{yd}} = \boxed{2062.9 \text{ kN}} \\ 0.25 f_{yd} \sum A_{sj} = 2084.9 \text{ kN} \end{cases}$$

$$V_{fd} = \min \begin{cases} 0.5 \eta f_{cd} \xi l_w b_w = \boxed{1186.1 \text{ kN}} \\ \mu_f \left[A_{sj} f_{yd} \frac{x}{l_{wc}} + N_c \right] = 3935.7 \text{ kN} \end{cases}$$

È cresciuto perché si è abbassato l'asse neutro (prima era 1057.7 kN)

Parete 1x (30)

verifica allo scorrimento

Alla base: $V_{Ed} = 3114.2 \text{ kN}$ $N_{Ed} = -732.3 \text{ kN}$

$$V_{dd} = 2062.9 \text{ kN}$$

$$V_{fd} = 1186.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = V_{dd} + V_{fd} = 3249.0 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta

Parete 1x (30)

verifica allo scorrimento

Piano	V_{Ed} (kN)	N_{Ed} (kN)	A_{sc} (cm ²)	A_{sw} (cm ²)	x (cm)	N_c (kN)	V_{dd} (kN)	V_{fd} (kN)	V_{Rd} (kN)
6	1556.6	-115.9							
5	1553.3	-268.0							
4	2043.4	-419.6							
3	2509.2	-573.5	81.7	29.4	90.0	3096.1	1865.8	1032.6	2898.4
2	3114.2	-732.3	81.7	49.8	103.4	3556.2	2062.9	1186.1	3249.0

Qui siamo fuori dalla zona critica

$$b_w = 30 \text{ cm} \quad \eta = 0.54$$

$$l_w = 550 \text{ cm} \quad l_c = 110 \text{ cm} \quad \mu_f = 0.6$$