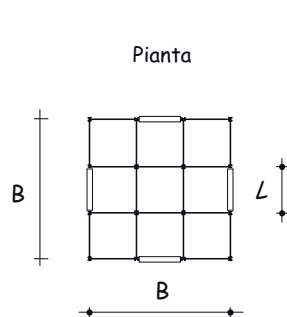


Esempi di progetto di strutture Controventate

Esempio di progetto di struttura con controventi concentrici

L'edificio in esame

Ubicazione e caratteristiche geometriche



L'edificio è :

- sito in Catania.
- di pianta quadrata ($24 \times 24 \text{ m}^2$) eguale ad ogni piano.

In particolare :

$$B = 24 \text{ m}$$

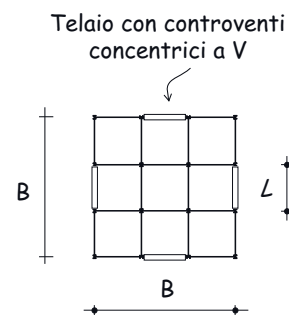
$$L = 8 \text{ m}$$

- costituito da otto elevazioni (altezza d'interpiano = 3.3 m)

3

L'edificio in esame

La struttura



Struttura

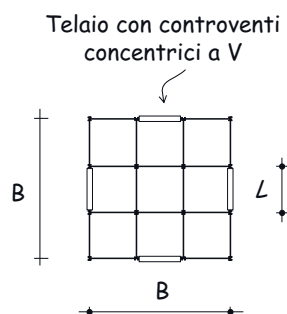
La struttura è costituita dall'intersezione di due gruppi di quattro telai disposti secondo due direzioni ortogonali

I telai posti sul perimetro della struttura sono dotati di controventi concentrici a V invertita nella campata centrale

4

L'edificio in esame

I carichi e le masse



Carichi e masse

I carichi verticali (permanenti + variabili) valutati nella combinazione sismica sono eguali a 5 kN/m^2

La massa che interessa un telaio controventato è

$$5 \cdot (24 \times 24) / 2 / 9.81 = 146.79 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

5

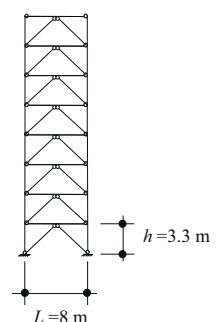
L'edificio in esame

I collegamenti

Collegamenti

Nel modello strutturale :

- i controventi sono incernierati alle colonne e alle travi.
- le colonne sono passanti ed incernierate alla base.
- le travi di piano sono incernierate alle estremità.



6

Vita nominale della costruzione

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere deve essere precisata nei documenti di progetto.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

¹ Le verifiche sismiche di strutture provvisorie o in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni

7

Classi d'uso della costruzione

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso :

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV', reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV'. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

8

Periodo di riferimento per l'azione sismica

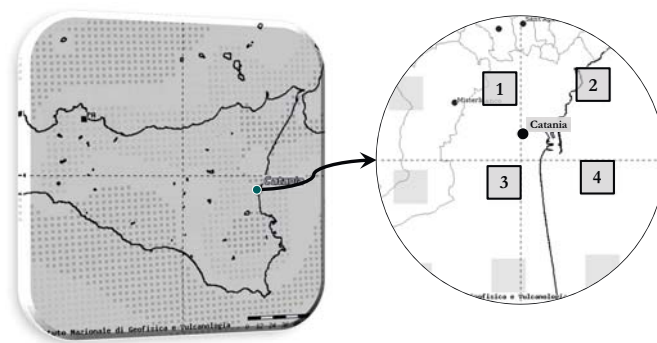
Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni

9

Reticolo di riferimento Particolare della zona di Catania



10

Dati di riferimento

Città di Catania (file xls del Consiglio Superiore dei lavori pubblici)

T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_C^* (s)
30	0.063	2.553	0.245
50	0.077	2.547	0.263
72	0.089	2.517	0.277
101	0.103	2.514	0.285
140	0.119	2.464	0.294
201	0.140	2.464	0.313
475	0.207	2.459	0.358
975	0.284	2.426	0.442
2475	0.443	2.380	0.530

11

Periodo di ritorno dell'azione sismica

Vita nominale della costruzione = 50 anni

Classe d'uso della costruzione = 4

Periodo di riferimento della costruzione = 100 anni

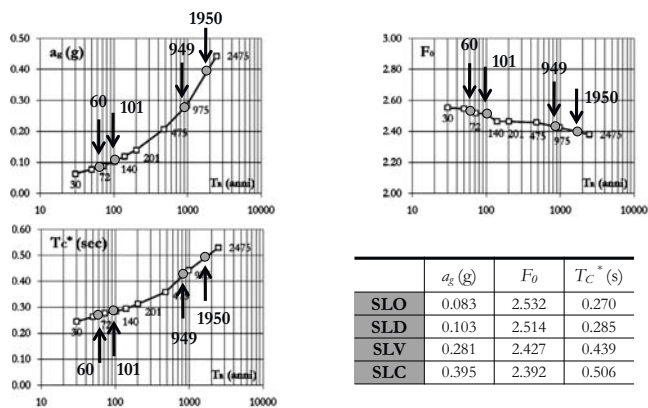
PERIODO DI RITORNO PER LA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE	SLO $P_{VR} = 81\%$	$T_R = 60$ anni
	SLD $P_{VR} = 63\%$	$T_R = 101$ anni
STATI LIMITE ULTIMI - SLU	SLV $P_{VR} = 10\%$	$T_R = 949$ anni
	SLC $P_{VR} = 5\%$	$T_R = 1950$ anni

12

Dati di riferimento

Città di Catania (file xls del Consiglio Superiore dei lavori pubblici)



13

Profilo stratigrafico del sito in esame



12 m - sabbie marnose	$N_{SPT} = 26$	$N_{SPT} = \frac{30}{\frac{12}{26} + \frac{6.1}{47} + \frac{1.9}{16} + \frac{6.5}{18} + \frac{3.5}{40}}$
6.1 m - argille grigio-brune	$N_{SPT} = 47$	
1.9 m - marne sabbiose	$N_{SPT} = 16$	
6.5 m - argille marnose	$N_{SPT} = 18$	
3.5 m - ciottoli, argille brune	$N_{SPT} = 40$	
		$N_{SPT} = 25.9$
		Si può considerare suolo di tipo C, perché $15 < N_{SPT} < 50$

14

Categoria del sottosuolo

A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s ($N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s ($N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

15

Condizione topografica

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

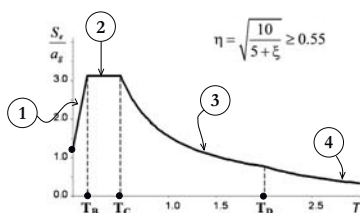
T ₁	Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T ₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T ₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T ₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

16

Spettri di risposta elastica di normativa

Accelerazioni orizzontali



$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Primo tratto - andamento lineare

$$S_e = a_g S \eta F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

Secondo tratto - costante

$$S_e = a_g S \eta F_0$$

Terzo tratto - decrescente (con $1/T$)

$$S_e = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

Quarto tratto - decrescente (con $1/T^2$)

$$S_e = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

17

Spettri di risposta elastica di normativa

Accelerazioni orizzontali

S coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:

$$S = S_S S_T$$

dove S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T è il coefficiente di amplificazione topografica;

η fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione seguente:

$$\eta = [10/(5 + \xi)]^{0.5} \geq 0.55$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

F₀ fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;

18

Spettri di risposta elastica di normativa

Accelerazioni orizzontali

T_c periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, determinato mediante la relazione:

$$T_c = C_c T_c^*$$

T_B periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, determinato mediante la relazione:

$$T_B = T_c / 3$$

T_D periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4.0 \frac{a_g}{g} + 1.6$$

19

Amplificazione stratigrafica

CATEGORIA SUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 F_0 a_g / g \leq 1.20$	$1.10 (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 F_0 a_g / g \leq 1.50$	$1.25 (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 F_0 a_g / g \leq 1.80$	$1.05 (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 F_0 a_g / g \leq 1.60$	$1.15 (T_c^*)^{-0.40}$

20

Amplificazione topografica

CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T_1	-	1.0
T_2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T_3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T_4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

21

Lo spettro di progetto

Dato	Valore	
a_g	0.278	g
F_0	2.463	
T_c^*	0.437	s
ξ	0.05	---

Dato	Valore	
S_s	1.29	---
S_T	1.00	---
S	1.29	---
C_c	1.380	---
T_B	0.201	s
T_c	0.603	s
T_D	2.712	s

Stato limite di salvaguardia della vita umana

Nota !

I dati per costruire lo spettro sono riferiti ad un punto specifico della città di Catania e sono calcolati tramite il sito <http://www.acca.it/EdiLus-MS/>

22

Fattore di struttura

Valutazione per le strutture sismo-resistenti in acciaio

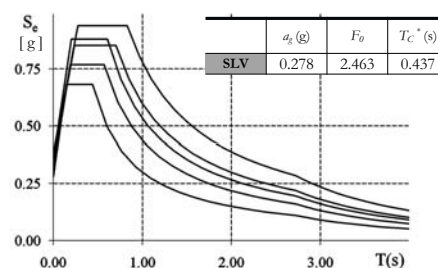
q_o

	CD "B"	CD "A"
Strutture a telaio, con controventi eccentrici	4.0	$5.0 \alpha_u / \alpha_1$
Controventi concentrici a diagonale tesa attiva	4.0	4.0
Controventi concentrici a V	2.0	2.5
Strutture a mensola o a pendolo inverso	2.0	$2.0 \alpha_u / \alpha_1$
Strutture intelaiate con controventi concentrici	4.0	$4.0 \alpha_u / \alpha_1$
Strutture intelaiate con tamponature in muratura	2.0	2.0

23

Spettri di risposta elastica di normativa

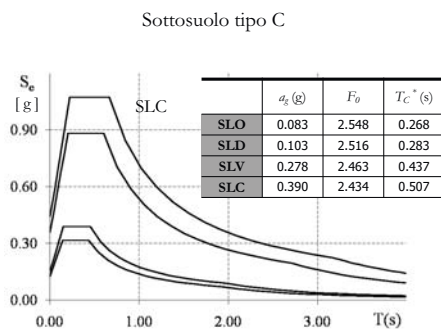
Accelerazioni orizzontali al variare del sottosuolo



24

Spettri di risposta elastica di normativa

Accelerazioni orizzontali al variare del periodo di ritorno



25

1ª iterazione

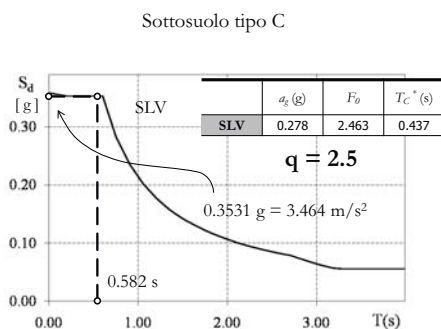
Calcolo del periodo fondamentale di vibrazione

Dato	Valore	Unità di misura
H_{TOT}	26.40	m
C_t	0.050	---
$T_1 = C_t H_{TOT}$	0.582	s

26

1ª iterazione

Calcolo della pseudo-accelerazione di progetto



27

1ª iterazione

Calcolo del taglio alla base

	Dato	Valore	Unità di misura
(massa di metà edificio)	M_{TOT}	1174.31	kN s ² /m
	S_d	3.464	m/s ²
(taglio alla base di metà edificio)	λ	0.85	---
	$F_b = M_{TOT} \lambda S_d$	3457.41	kN

28

1ª iterazione

Calcolo del taglio alla base

Le forze sismiche di progetto sono valutate attraverso l'espressione:

$$F_i = F_b \frac{m_i z_i}{\sum m_i z_i}$$

dove:

$$F_b = M_{TOT} \lambda S_d$$

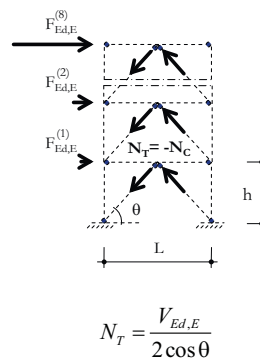
Piano	m (kNs ² /m)	z (m)	mz (kNs ²)	Forza (kN)	Taglio (kN)
8	146.79	26.4	3875.23	768.31	768.31
7	146.79	23.1	3390.83	672.27	1440.59
6	146.79	19.8	2906.42	576.24	2016.82
5	146.79	16.5	2422.02	480.20	2497.02
4	146.79	13.2	1937.61	384.16	2881.18
3	146.79	9.9	1453.21	288.12	3169.30
2	146.79	6.6	968.81	192.08	3361.37
1	146.79	3.3	484.40	96.04	3457.41

29

1ª iterazione

Calcolo delle sollecitazioni sui controventi

Piano	Taglio piano (kN)	$N_{d,Ed}$ (kN)
8	768.31	498.01
7	1440.59	933.78
6	2016.82	1307.29
5	2497.02	1618.55
4	2881.18	1867.57
3	3169.30	2054.32
2	3361.37	2178.83
1	3457.41	2241.08



30

1ª iterazione

Sceita delle sezioni dei controventi

Piano			$N_{d,Ed,E}$ (kN)	$N_{d,pl,Rd}$ (kN)
8	Scat 160x5	S235	498.01	674.56

$$\rho_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$$

$$\lambda = \frac{\rho_{\min}}{l_0}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$$

Piano			A (cm²)	I_{\min} (cm⁴)	ρ_{\min} (cm)	λ	λ_1	$\bar{\lambda}$
8	Scat 160x5	S235	30.14	1189.00	6.28	82.56	93.01	0.8876

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{per sezioni di classe 1, 2 e 3}$$


... ma il calcolo di χ richiede anche la valutazione della curva di imperfezione

31

1ª iterazione

Sceita delle sezioni dei controventi

Piano			$N_{d,Ed,E}$ (kN)	$N_{d,pl,Rd}$ (kN)
8	Scat 160x5	S235	498.01	674.56

Sezione trasversale		Limiti		Inflessione intorno all'asse	Curva d'instabilità	
					S235, S275, S355, S420	S460
Sezioni Cave		Sezione formata a caldo		qualunque	a	a ₀
		Sezione formata a freddo		qualunque	c	c
Curva d'instabilità		a ₀	a	b	c	d
Fattore di imperfezione		0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

32

1ª iterazione

Sceita delle sezioni dei controventi

Piano			$N_{d,Ed,E}$ (kN)	$N_{d,pl,Rd}$ (kN)
8	Scat 160x5	S235	498.01	674.56

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{per sezioni di classe 1, 2 e 3}$$

Piano	A (cm²)	I_{\min} (cm⁴)	ρ_{\min} (cm)	λ	λ_1	$\bar{\lambda}$	α	Φ	χ	$N_{d,Rd}$ (kN)
8	30.14	1189.00	6.28	82.56	93.01	0.8876	0.21	0.97	0.7420	500.55

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

33

1ª iterazione

Sceita delle sezioni dei controventi

$\Omega = 1.01$ è il valore da utilizzare per il calcolo degli sforzi normali sugli altri elementi

Piano			$N_{d,Ed,E}$ (kN)	$N_{d,b,Rd}$ (kN)	$N_{d,pl,Rd}$ (kN)	V_{Ed} (kN)	V_{Rd} (kN)	Ω	Rapp Ω
8	Scat 160x5	S235	498.01	500.55	674.56	768.30	772.22	1.01	1.00
7	Scat 200x7	S235	933.78	998.46	1187.31	1440.59	1540.38	1.07	1.06
6	Scat 250x7	S235	1307.29	1358.23	1505.12	2016.82	2095.41	1.04	1.03
5	Scat 250x10	S235	1618.55	1863.14	2071.80	2497.01	2874.35	1.15	1.15
4	Scat 250x10	S235	1867.57	1961.29	2161.33	2881.19	3025.77	1.05	1.04
3	Scat 285x10	S235	2054.32	2204.37	2385.81	3169.30	3400.78	1.07	1.07
2	Scat 285x10	S235	2178.83	2204.37	2385.81	3361.38	3400.78	1.01	1.01
1	Scat 300x10	S235	2241.08	2348.46	2520.10	3457.42	3623.08	1.05	1.04

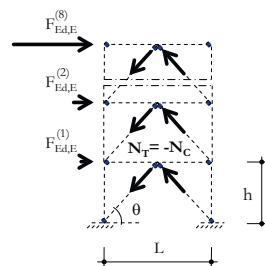
< 1.25 ok

34

1ª iterazione

Calcolo degli sforzi normali sulle travi

Piano	$F_{Ed,E}$ (kN)	$N_{L,Ed,E}$ (kN)
8	768.31	509.67
7	672.27	445.96
6	576.24	382.26
5	480.20	318.55
4	384.16	254.84
3	288.12	191.13
2	192.08	127.42
1		63.71



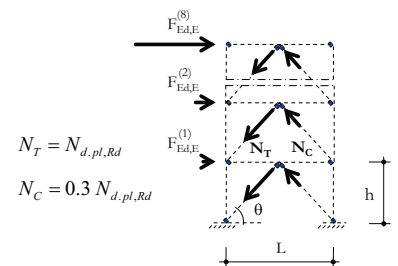
$$N_{t,Ed,E}^{(i)} = 1.1 \gamma_{Rd} \Omega \left[\frac{F_{Ed,E}^{(i)}}{2} + N_{d,Ed,E}^{(i+1)} \right]$$

35

1ª iterazione

Calcolo dei momenti flettenti sulle travi

Piano	$F_{t, sb}$ (kN)	$M_{L, Ed}$ (kNm)
8	333.72	667.43
7	564.96	1129.92
6	698.53	1397.05
5	962.76	1925.52
4	962.76	2001.99
3	1097.44	2194.88
2	1097.44	2194.88
1	1155.39	2310.78



$$N_T = N_{d,pl,Rd}$$

$$N_C = 0.3 N_{d,pl,Rd}$$

$$M_{t,Ed}^{(i)} = \frac{F_{Ed,G}^{(i)} L^2}{8} + 0.7 N_{d,pl,Rd}^{(i)} \text{ sen} \alpha \frac{L}{4}$$

36

1ª iterazione

Scelta delle sezioni delle travi

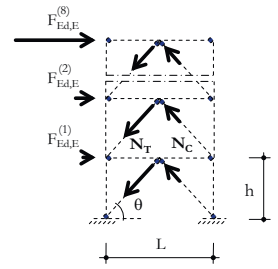
Piano			$N_{t,Ed,E}$ (kN)	$M_{t,Ed}$ (kNm)	$N_{t,b,Rd}$ (kN)	$M_{t,pl,Rd}$ (kNm)	$M_{t,pl,Rd}(N)$ (kNm)
8	HEA 450	S235	509.67	667.43	3736.07	719.74	667.44
7	HEA 600	S235	445.96	1129.92	4901.31	1197.47	1193.76
6	HEA 700	S235	382.26	1397.05	5699.72	1573.79	1573.79
5	HEA 800	S235	318.55	1925.52	6306.18	1947.03	1947.03
4	HEA 800	S275	254.84	2001.99	7342.63	2278.44	2278.44
3	HEA 800	S275	191.13	2194.88	7342.63	2278.44	2278.44
2	HEA 800	S275	127.42	2194.88	7342.63	2278.44	2278.44
1	HEB 800	S275	63.71	2310.78	8588.16	2678.95	2678.95

37

1ª iterazione

Calcolo degli sforzi normali sulle colonne

Piano	$F_{Ed,G}$ (kN)	Contr. Diag. (kN)	$N_{c,Ed}$ (kN)	$N_{c,d}$ (kN)
8	160.00	0.00	160.00	293.12
7	320.00	498.01	739.02	586.24
6	480.00	1431.79	1684.68	879.36
5	640.00	2739.08	2944.62	1172.48
4	800.00	4357.63	4466.44	1465.60
3	960.00	6225.20	6197.78	1758.72
2	1120.00	8279.52	8086.25	2051.84
1	1280.00	10458.35	10079.48	2344.96



$$N_{c,Ed}^{(i)} = N_{c,Ed,G}^{(i)} + 1.1 \gamma_{Rd} \Omega \sum_{j=i+1}^n N_{d,Ed,E}^{(j)} \sin \alpha$$

Situazione non sismica di progetto

38

1ª iterazione

Scelta delle sezioni delle colonne

Piano			$N_{c,Ed}$ (kN)	$N_{c,d}$ (kN)	$N_{c,b,Rd}$ (kN)
8	HEB 160	S235	160.00	293.12	746.35
7	HEB 160	S235	739.02	586.24	746.35
6	HEB 320	S235	1684.68	879.36	3105.67
5	HEB 320	S235	2944.62	1172.48	3105.67
4	M3	S275	4466.44	1465.60	6502.94
3	M3	S275	6197.78	1758.72	6502.94
2	M10	S275	8086.25	2051.84	10277.28
1	M10	S275	10079.48	2344.96	10277.28

M3=HEB500 +2 IPE160
M10=HEM500 +2 IPE240

39

Iterazione intermedia

Scelta delle sezioni dei controventi

Piano			$N_{d,Ed,G}$ (kN)	$N_{d,Ed,E}$ (kN)	$N_{d,b,Rd}$ (kN)	$N_{d,pl,Rd}$ (kN)	$N_{d,u,Rd}$ (kN)	Ω	Rapp Ω
8	Scat 135x5	S235	-3.90	300.18	350.81	562.66	105.24	1.15	1.16
7	Scat 160x6	S235	-10.70	562.83	615.24	836.38	184.57	1.07	1.08
6	Scat 175x7	S235	-9.50	787.97	805.29	1028.40	241.59	1.01	1.01
5	Scat 200x7	S235	-15.75	975.58	998.46	1187.31	299.54	1.01	1.01
4	Scat 220x7	S235	-12.02	1125.67	1145.48	1314.43	343.64	1.01	1.01
3	Scat 220x8	S235	-17.64	1238.24	1294.43	1491.47	388.33	1.03	1.04
2	Scat 250x7	S235	-11.47	1313.29	1358.23	1505.12	407.47	1.03	1.03
1	Scat 250x7	S235	-13.11	1350.81	1358.23	1505.12	407.47	1.00	1.00

40

Iterazione intermedia

Scelta delle sezioni delle travi

Piano			$N_{t,Ed,E}$ (kN)	$M_{t,Ed}$ (kNm)	$N_{t,b,Rd}$ (kN)	$M_{t,pl,Rd}$ (kNm)	$M_{t,pl,Rd}(N)$ (kNm)
8	HEA 450	S235	304.49	582.18	3736.07	719.74	719.61
7	HEA 500	S235	266.43	829.60	4200.00	883.79	883.79
6	HEA 550	S235	228.37	1001.44	4548.17	1034.41	1034.41
5	HEA 600	S235	190.31	1129.92	4901.31	1197.47	1197.47
4	HEA 600	S275	152.25	1235.59	5693.97	1401.29	1401.29
3	HEA 650	S275	114.19	1404.04	6117.28	1607.12	1607.12
2	HEA 600	S275	76.12	1397.05	5693.97	1401.29	1401.29
1	HEA 600	S275	38.06	1397.05	5693.97	1401.29	1401.29

41

Iterazione intermedia

Scelta delle sezioni delle colonne

Piano			$N_{c,Ed}$ (kN)	$N_{c,d}$ (kN)	$N_{c,b,Rd}$ (kN)
8	HEB 160	S235	160.00	293.12	746.35
7	HEB 160	S235	571.11	586.24	746.35
6	HEB 260	S235	1201.93	879.36	2175.79
5	HEB 260	S235	2021.08	1172.48	2175.79
4	HEB 400	S275	2997.18	1465.60	4536.70
3	HEB 400	S275	4098.82	1758.72	4536.70
2	M4	S275	5294.64	2051.84	7061.84
1	M4	S275	6553.24	2344.96	7061.84

M4=HEB500 +2 IPE200

42

Iterazione intermedia con P-Delta

Confronto dei controventi

Piano	iterazione iniziale		iterazione intermedia	
	Sezione	Acciaio	Sezione	Acciaio
8	Scat 160x5	S235	Scat 135x5	S235
7	Scat 200x7	S235	Scat 160x6	S235
6	Scat 250x7	S235	Scat 175x7	S235
5	Scat 250x10	S235	Scat 200x7	S235
4	Scat 250x10	S235	Scat 220x7	S235
3	Scat 285x10	S235	Scat 220x8	S235
2	Scat 285x10	S235	Scat 250x7	S235
1	Scat 300x10	S235	Scat 250x7	S235

43

Iterazione intermedia con P-Delta

Confronto delle altre sezioni

Piano	iterazione iniziale		iterazione intermedia	
	Sezione	Acc	Sezione	Acc
8	HEA 450	S235	HEA 450	S235
7	HEA 600	S235	HEA 500	S235
6	HEA 700	S235	HEA 550	S235
5	HEA 800	S235	HEA 600	S235
4	HEA 800	S275	HEA 600	S275
3	HEA 800	S275	HEA 650	S275
2	HEA 800	S275	HEA 600	S275
1	HEB 800	S275	HEA 600	S275

Piano	iterazione iniziale		iterazione intermedia	
	Sezione	Acc	Sezione	Acc
8	HEB 160	S235	HEB 160	S235
7	HEB 160	S235	HEB 160	S235
6	HEB 320	S235	HEB 260	S235
5	HEB 320	S235	HEB 260	S235
4	M3	S275	HEB 400	S275
3	M3	S275	HEB 400	S275
2	M10	S275	M4	S275
1	M10	S275	M4	S275

Travi

Colonne

44

Analisi lineare

Non linearità geometriche

Per le costruzioni civili ed industriali, le non linearità geometriche possono essere trascurate nel caso in cui ad ogni orizzontamento risulti:

$$\theta = \frac{P d_r}{V h} \leq 0.1$$

dove:

P è il carico verticale totale della parte di struttura sovrastante;
d_r è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano;
V è il taglio di piano;
h è l'altezza d'interpiano.

Nota: Quando θ è compreso tra 0.1 e 0.2 gli effetti delle non linearità geometriche possono essere presi in conto incrementando gli effetti dell'azione sismica orizzontale di un fattore pari a 1/(1- θ);
 θ non può comunque superare il valore 0.3.

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

45

Analisi lineare

Valutazione degli spostamenti

Gli spostamenti d_E della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV si ottengono moltiplicando per il fattore μ_d i valori d_{Ee} ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione seguente:

$$d_E = \pm \mu_d d_{Ee}$$

dove

$$\mu_d = q \quad \text{se } T_1 \geq T_C$$
$$\mu_d = 1 + (q-1)T_C / T_1 \quad \text{se } T_1 < T_C$$

In ogni caso $\mu_d \leq 5q - 4$.

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

46

Iterazione intermedia

Verifica degli effetti P-Delta per le sezioni dei controventi

Piano			N _{d,Ed,E} (kN)	F _{piano/2} (kN)	δ (mm)	V _{piano/2} (kN)	θ	
8	Scat 135x5	S235	304.08	1440	30.18	463.10	0.028	$\theta < 0.1$ Non e' necessario incrementare le sollecitazioni per effetto P-Delta
7	Scat 160x6	S235	573.53	2880	31.57	868.30	0.032	
6	Scat 175x7	S235	797.47	4320	31.74	1215.64	0.034	
5	Scat 200x7	S235	991.33	5760	29.82	1505.07	0.035	
4	Scat 220x7	S235	1137.69	7200	27.66	1736.62	0.035	
3	Scat 220x8	S235	1255.88	8640	23.19	1910.29	0.032	
2	Scat 250x7	S235	1324.76	10080	20.42	2026.07	0.031	
1	Scat 250x7	S235	1363.92	11520	16.39	2083.96	0.027	

47

Criteri di verifica SLE

Verifiche di resistenza

Per costruzioni di Classe III e IV.

se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi,

deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione (E_d) calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo SLD ed attribuendo ad h il valore di 2/3, sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto (R_d) calcolato con riferimento alle situazioni eccezionali (ad es. nel conglomerato cementizio armato $\gamma_c=1.0$ e $\gamma_s=1.0$).

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

48

Criteri di verifica SLE

Verifiche di deformazione

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso I e II

si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca agli elementi costruttivi senza funzione strutturale danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nota !

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti eccessivi di interpiano, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD siano inferiori ai limiti indicati nel seguito.

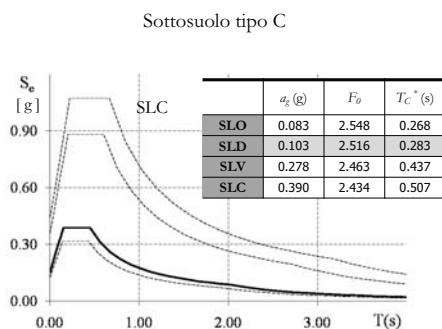
Criteri di verifica SLE

Verifiche di deformazione

	SITUAZIONE PROGETTUALE	VERIFICA
1	tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa	$d_r < 0,005 h$
2	tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano d_{rp} , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura	$d_r \leq d_{rp} \leq 0,01 h$
3	costruzioni con struttura portante in muratura ordinaria	$d_r < 0,003 h$
4	costruzioni con struttura portante in muratura armata	$d_r < 0,004 h$

Spettri di risposta elastica di normativa

Accelerazioni orizzontali al variare del periodo di ritorno



Iterazione intermedia con P-Delta

Verifica dello stato limite di danneggiamento

Si e' assunto
uno spostamento relativo limite

$$\delta_{lim} = 0.0050 h = 16.50 \text{ mm}$$

iterazione
con effetti P-Delta

Piano	δ (mm)	δ_{lim} (mm)
8	11.69	16.50
7	12.23	16.50
6	12.29	16.50
5	11.55	16.50
4	10.72	16.50
3	8.99	16.50
2	7.91	16.50
1	6.35	16.50

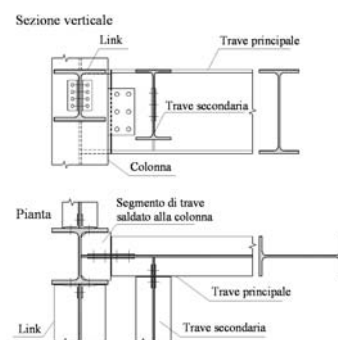
Esempio di progetto di struttura con controventi eccentrici

L'edificio in esame

La trave di piano

La funzione portante della trave di piano in corrispondenza del telaio controventato è suddivisa tra due profili, dei quali

- uno adibito alla resistenza ai carichi verticali
- e l'altro alla resistenza dei carichi laterali.



Fattore di struttura

Valutazione per le strutture sismo-resistenti in acciaio

q_o

	CD "B"	CD "A"
<i>Strutture a telaio, con controventi eccentrici</i>	4.0	5.0 α_u/α_1
<i>Controventi concentrici a diagonale tesa attiva</i>	4.0	4.0
<i>Controventi concentrici a V</i>	2.0	2.5
<i>Strutture a mensola o a pendolo inverso</i>	2.0	2.0 α_u/α_1
<i>Strutture intelaiate con controventi concentrici</i>	4.0	4.0 α_u/α_1
<i>Strutture intelaiate con tamponature in muratura</i>	2.0	2.0

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

55

Fattore di struttura

Fattore di sovrarresistenza

Qualora non si proceda ad una analisi non lineare per la valutazione di α_u/α_1 , possono essere adottati i seguenti valori :

(per le strutture regolari in pianta)

Strutture in acciaio	α_u/α_1
edifici a ad un piano	1.1
edifici a telaio a più piani, con una sola campata	1.2
edifici a telaio con più piani e più campate	1.3
edifici con controventi eccentrici e più piani	1.2
edifici con strutture a mensola o a pendolo inverso	1.0

Nota ! (per le strutture non regolari in pianta va preso il valore medio tra quello sopra indicato e l'unità)

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

56

1ª iterazione

Calcolo del periodo fondamentale di vibrazione

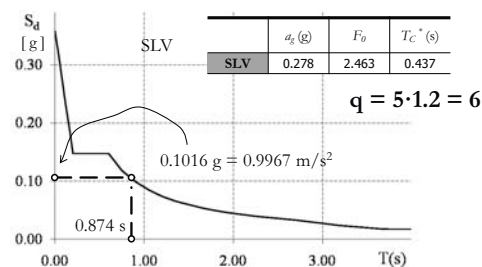
Dato	Valore	Unità di misura
H_{TOT}	26.40	m
C_t	0.075	---
$T_1 = C_t H_{TOT}$	0.874	s

57

1ª iterazione

Calcolo della pseudo-accelerazione di progetto

Sottosuolo tipo C



58

1ª iterazione

Calcolo del taglio alla base

	Dato	Valore	Unità di misura
(massa di metà edificio)	M_{TOT}	1174.31	kN s ² /m
	S_d	0.9967	m/s ²
	λ	0.85	---
(taglio alla base di metà edificio)	$F_b = M_{TOT} \lambda S_d$	994.5	kN

59

1ª iterazione

Calcolo delle forze sismiche equivalenti

Le forze sismiche di progetto sono valutate attraverso l'espressione:

$$F_i = F_b \frac{m_i z_i}{\sum m_i z_i}$$

dove:

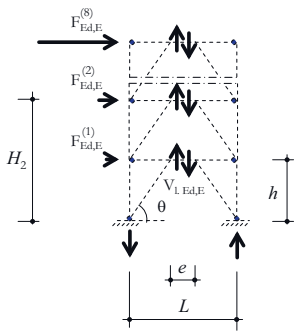
$$F_b = M_{TOT} \lambda S_d$$

Piano	m (kNs ² /m)	z (m)	mz (kNs ²)	Forza (kN)	Taglio (kN)
8	146.79	26.4	3875.23	221.0	221.0
7	146.79	23.1	3390.83	193.4	414.4
6	146.79	19.8	2906.42	165.7	580.1
5	146.79	16.5	2422.02	138.1	718.2
4	146.79	13.2	1937.61	110.5	828.7
3	146.79	9.9	1453.21	82.9	911.6
2	146.79	6.6	968.81	55.2	966.8
1	146.79	3.3	484.40	27.6	994.5

60

1ª iterazione

Calcolo delle sollecitazioni dei link



Equilibrio alla traslazione verticale

$$R_{c.Ed,E}^{(i)} = \sum_{j=1}^n V_{l.Ed,E}^{(i)}$$

Equilibrio alla rotazione

$$R_{c.Ed,E}^{(i)} L = \sum_{j=1}^n F_{Ed,E}^{(i)} \cdot H_i$$

ovvero :

$$\sum_{j=1}^n V_{l.Ed,E}^{(i)} L = \sum_{j=1}^n F_{Ed,E}^{(i)} \cdot H_i$$

e quindi $M_{l.Ed,E}^{(i)} = \frac{V_{l.Ed,E}^{(i)} e}{2}$

61

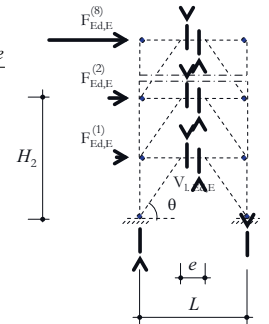
1ª iterazione

Calcolo delle sollecitazioni dei link

Piano	V _{l, Ed} (kN)	M _{l, Ed} (kNm)
8	91.2	36.5
7	170.9	68.4
6	239.3	95.7
5	296.3	118.5
4	341.8	136.7
3	376.0	150.4
2	398.8	159.5
1	410.2	164.1

$$\sum_{j=1}^n V_{l.Ed,E}^{(i)} L = \sum_{j=1}^n F_{Ed,E}^{(i)} \cdot H_i$$

$$M_{l.Ed,E}^{(i)} = \frac{V_{l.Ed,E}^{(i)} e}{2}$$



62

1ª iterazione

Scelta delle sezioni dei link

link lunghi e intermedi

$$\Omega_l = M_{l,Rd,j} / M_{Ed,j}$$

link corti

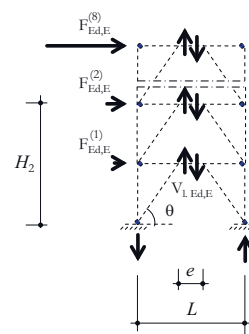
$$\Omega_l = V_{l,Rd,j} / V_{Ed,j}$$

Piano			V _{l, Ed} (kN)	M _{l, Ed} (kNm)	V _{l, pl,Rd} (kN)	M _{l, pl,Rd} (kNm)	eV _p /M _p	Ω	Ω/Ω _{min}
8	HEA 160	S235	91.2	36.5	116.4	48.4	1.92	1.28	1.25
7	HEB 180	S235	170.9	68.4	191.4	98.3	1.56	1.12	1.10
6	HEB 220	S235	239.3	95.7	262.9	168.7	1.25	1.10	1.08
5	HEB 240	S235	296.3	118.5	302.6	213.8	1.13	1.02	1.00
4	HEB 280	S235	341.8	136.7	373.2	310.3	0.96	1.09	1.07
3	HEB 300	S235	376.0	150.4	419.4	376.4	0.89	1.12	1.09
2	HEB 300	S235	398.8	159.5	419.4	376.4	0.89	1.05	1.03
1	HEB 300	S235	410.2	164.1	419.4	376.4	0.89	1.02	1.00

63

1ª iterazione

Calcolo delle sollecitazioni dei controventi



$$N_{d,Ed,E} = 1.1 \gamma_{Rd} \Omega \frac{V_{l,Ed,E}}{\sin \theta} \left(1 + \frac{e}{2l_i} \right)$$

Per determinare il momento flettente di progetto si può supporre una ripartizione del momento flettente del link tra il segmento di trave esterno al link e il controvento in funzione delle rispettive rigidezze flessionali

$$M_{d,Ed,E} = M_{l,Ed,E} \cdot \frac{\beta_d EI_d / l_d}{\beta_l EI_l / l_i + \beta_d EI_d / l_d}$$

64

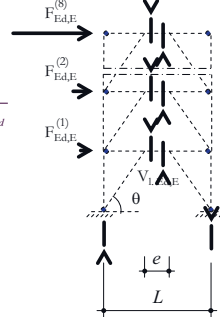
1ª iterazione

Calcolo delle sollecitazioni dei controventi

Piano	N _{d, Ed} (kN)	M _{d, Ed} (kNm)
8	315.73	17.14
7	591.99	19.08
6	828.78	30.40
5	1026.11	29.70
4	1183.97	30.78
3	1302.37	27.37
2	1381.30	29.03
1	1420.77	29.86

$$N_{d,Ed,E} = 1.1 \gamma_{Rd} \Omega \frac{V_{l,Ed,E}}{\sin \theta} \left(1 + \frac{e}{2l_i} \right)$$

$$M_{d,Ed,E} = M_{l,Ed,E} \cdot \frac{4I_d / l_d}{3I_l / l_i + 4I_d / l_d}$$



65

1ª iterazione

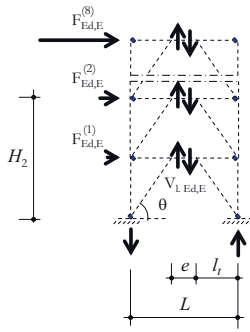
Scelta delle sezioni dei controventi

Piano			N _{d, Ed} (kN)	M _{d, Ed} (kNm)	N _{d, b,Rd} (kN)	N _{d, b,RdM} (kN)	M _{d, Np,Rd} (kNm)	Res	Inst
8	HEB 140	S235	315.73	17.14	714.70	655.06	44.48	0.43	0.48
7	HEB 140	S235	591.99	19.08	714.70	648.38	26.77	0.83	0.91
6	HEB 180	S235	828.78	30.40	1233.00	1144.78	58.74	0.71	0.72
5	HEB 180	S235	1026.11	29.70	1233.00	1146.79	42.31	0.87	0.89
4	HEB 200	S235	1183.97	30.78	1533.28	1451.82	60.61	0.79	0.82
3	HEB 200	S235	1302.37	27.37	1533.28	1460.81	49.60	0.85	0.89
2	HEB 200	S235	1381.30	29.03	1533.28	1456.44	42.25	0.91	0.95
1	HEB 200	S235	1420.77	29.86	1533.28	1454.25	38.58	0.94	0.98

66

1ª iterazione

Calcolo delle sollecitazioni delle travi esterne ai link



$$N_{t,Ed,E} = 1.1 \gamma_{Rd} \Omega \frac{V_{l,Ed,d}}{\tan \alpha} \left(1 + \frac{e}{2l_t} \right)$$

$$V_{t,Ed,E} = V_{l,Ed,d} \frac{e}{2l_t}$$

Per determinare il momento flettente di progetto si può supporre una ripartizione del momento flettente del link tra il segmento di trave esterno al link e il controvento in funzione delle rispettive rigidezze flessionali

$$M_{t,Ed,E} = M_{l,Ed,E} \cdot \frac{\beta_t EI_t / l_t}{\beta_t EI_t / l_t + \beta_d EI_d / l_d}$$

67

1ª iterazione

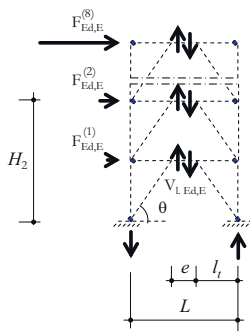
Verifica delle sezioni delle travi esterne ai link

Piano			$N_{t,Ed}$ (kN)	$V_{t,Ed}$ (kN)	$M_{t,Ed}$ (kNm)	$N_{t,pl,Rd}$ (kN)	$V_{t,pl,Rd}$ (kN)	$M_{t,pl,Rd}$ (kNm)	Res	Inst
8	HEA 160	S235	232.7	5.4	19.3	912	180	58	0.39	0.53
7	HEB 180	S235	436.4	13.7	49.3	1535	275	113	0.54	0.55
6	HEB 220	S235	610.9	18.1	65.3	2139	378	194	0.42	0.45
5	HEB 240	S235	756.4	24.7	88.8	2491	451	247	0.46	0.46
4	HEB 280	S235	872.8	29.4	106.0	3088	558	361	0.38	0.39
3	HEB 300	S235	960.0	34.2	123.0	3504	644	439	0.36	0.37
2	HEB 300	S235	1018.2	36.2	130.5	3504	644	439	0.39	0.39
1	HEB 300	S235	1047.3	37.3	134.2	3504	644	439	0.41	0.40

68

1ª iterazione

Calcolo delle sollecitazioni delle colonne



$$N_{c,Ed}^{(i)} = \sum_{j=1}^n \left[F_j^q \mp 1.1 \gamma_{Rd} \Omega V_{l,Ed,E}^{(j)} \frac{e}{2l_t} \right] \pm \sum_{j=i+1}^n N_{d,Ed}^{(j)} \sin \theta$$

Risulta difficile effettuare una stima affidabile dei momenti nelle colonne. In fase di progetto può essere accettabile ridurre la resistenza delle colonne del 10% per tener conto forfettariamente dell'influenza dei momenti flettenti.

69

1ª iterazione

Scelta delle sezioni delle colonne

Piano			$N_{c,Ed}$ (kN)	$N_{c,pl,Rd}$ (kN)	$0.9 N_{c,t,Rd}$ (kN)	Res	Inst	InstQv
8	HEA 180	S235	181.3	1064.6	647.81	0.17	0.28	0.41
7	HEA 180	S235	514.7	1064.6	647.81	0.48	0.79	0.81
6	HEB 240	S235	1018.7	2491.0	1790.22	0.41	0.57	0.66
5	HEB 240	S235	1669.4	2491.0	1790.22	0.67	0.93	0.88
4	HEB 320	S275	2442.7	4435.8	3360.17	0.55	0.73	0.56
3	HEB 320	S275	3314.8	4435.8	3360.17	0.75	0.99	0.68
2	HEB 400	S355	4261.5	7021.9	5340.06	0.61	0.80	0.52
1	HEB 400	S355	5258.9	7021.9	5340.06	0.75	0.98	0.59

Situazione non sismica di progetto

70

Iterazione intermedia

Calcolo delle sollecitazioni nei link

	1ª iterazione		iterazione intermedia		
Piano	$V_{l,Ed}$ (kN)	$M_{l,Ed}$ (kNm)	$V_{l,Ed}$ (kN)	$M_{l,Ed}$ (kNm)	Diff. (%)
8	91.2	36.5	65.1	26.2	-28.6
7	170.9	68.4	120.1	49.0	-29.7
6	239.3	95.7	171.8	69.7	-28.2
5	296.3	118.5	209.4	85.8	-29.3
4	341.8	136.7	244.2	100.1	-28.6
3	376.0	150.4	269.9	112.2	-28.2
2	398.8	159.5	279.7	115.2	-29.9
1	410.2	164.1	300.3	125.1	-26.8

71

Iterazione interm. link lunghi e intermedi

Scelta delle sezioni dei link

link corti

$$\Omega_i = M_{l,Rd,i} / M_{Ed,i}$$

$$\Omega_i = V_{l,Rd,i} / V_{Ed,i}$$

Piano			$V_{l,Ed}$ (kN)	$M_{l,Ed}$ (kNm)	$V_{l,pl,Rd}$ (kN)	$M_{l,pl,Rd}$ (kNm)	$e V_p / M_p$	Ω	Ω / Ω_{min}
8	HEA 140	S235	65.1	26.2	92.9	34.8	2.13	1.33	1.23
7	HEA 180	S235	120.1	49.0	131.5	64.9	1.62	1.09	1.02
6	HEB 180	S235	171.8	69.7	191.4	98.3	1.56	1.11	1.04
5	HEB 200	S235	209.4	85.8	225.9	130.4	1.39	1.08	1.00
4	HEB 220	S235	244.2	100.1	262.9	168.7	1.25	1.08	1.00
3	HEB 240	S235	269.9	112.2	302.6	213.8	1.13	1.12	1.04
2	HEB 240	S235	279.7	115.2	302.6	213.8	1.13	1.08	1.00
1	HEB 260	S235	300.3	125.1	329.0	259.3	1.02	1.10	1.02

72

Iterazione intermedia

Scelta delle sezioni dei controventi

Piano			N _{Ed} (kN)	M _{Ed} (kNm)	N _{bRd} (kN)	N _{bRdM} (kN)	M _{Ny,Rd} (kNm)	Res	Inst
8	HEB 120	S235	235.21	11.55	503.63	460.21	30.85	0.40	0.51
7	HEB 120	S235	436.81	12.36	503.63	457.22	19.82	0.76	0.96
6	HEB 160	S235	622.09	26.59	969.55	885.00	48.28	0.68	0.70
5	HEB 160	S235	760.66	25.32	969.55	888.99	38.05	0.82	0.86
4	HEB 180	S235	886.39	30.93	1233.00	1143.25	53.94	0.76	0.78
3	HEB 180	S235	981.67	26.81	1233.00	1155.12	46.01	0.81	0.85
2	HEB 180	S235	1017.14	28.05	1233.00	1151.54	43.06	0.85	0.88
1	HEB 180	S235	1093.32	23.76	1233.00	1163.93	36.72	0.88	0.94

Iterazione intermedia

Verifica delle sezioni delle travi esterne ai link

Piano			N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	M _{Ed} (kNm)	N _{pl,Rd} (kN)	V _{pl,Rd} (kN)	M _{pl,Rd} (kNm)	Res	Inst
8	HEA 140	S235	178.3	4.1	14.7	738	137	41	0.42	0.59
7	HEA 180	S235	327.3	10.2	36.8	1065	197	76	0.61	0.61
6	HEB 180	S235	469.8	12.1	43.5	1535	275	113	0.49	0.57
5	HEB 200	S235	571.2	17.0	61.1	1835	337	151	0.52	0.54
4	HEB 220	S235	666.0	19.4	70.0	2139	378	194	0.46	0.50
3	HEB 240	S235	733.8	24.0	86.3	2491	451	247	0.44	0.45
2	HEB 240	S235	760.9	24.4	87.8	2491	451	247	0.45	0.46
1	HEB 260	S235	814.4	28.4	102.2	2782	509	301	0.42	0.42

Iterazione intermedia

Scelta delle sezioni delle colonne

Piano			N _{Ed} (kN)	M _{Ed} (kNm)	N _{bRd} (kN)	M _{Ny,Rd} (kNm)	N _{my,Rd} (kN)	Res	Inst	InstQv
8	HEA 180	S235	168.9	2.9	704.0	73.20	1028.9	0.16	0.24	0.41
7	HEA 180	S235	442.1	1.8	710.0	50.87	1042.5	0.42	0.62	0.81
6	HEB 220	S235	864.9	5.8	1616.0	130.53	2081.9	0.42	0.54	0.54
5	HEB 220	S235	1395.9	5.3	1618.6	76.11	2087.3	0.67	0.86	0.71
4	HEB 280	S275	2015.6	9.9	2934.7	211.18	3538.7	0.57	0.69	0.49
3	HEB 280	S275	2708.5	9.8	2935.2	119.61	3539.7	0.77	0.92	0.59
2	HEB 400	S275	3466.6	10.0	4749.3	373.08	5386.6	0.64	0.73	0.43
1	HEB 400	S275	4239.6	21.6	4718.7	226.90	5325.2	0.80	0.90	0.49

Iterazione intermedia

Effetto P-Delta

Piano			δ (mm)	P _{TOT} (kN)	V _{TOT} (kN)	θ	1/(1-θ)
8	HEA 140	S235	53.74	1440	158	0.15	1.23
7	HEA 180	S235	58.83	2880	296	0.17	1.02
6	HEB 180	S235	52.07	4320	414	0.16	1.04
5	HEB 200	S235	50.09	5760	513	0.17	1.00
4	HEB 220	S235	43.70	7200	592	0.16	1.00
3	HEB 240	S235	38.23	8640	651	0.15	1.04
2	HEB 240	S235	35.07	10080	691	0.16	1.00
1	HEB 260	S235	29.06	11520	710	0.14	1.02

Iterazione intermedia con P-Delta

Confronto dei link

Piano	iterazione intermedia		iterazione con effetti P-Delta	
	Sezione	Acciaio	Sezione	Acciaio
8	HEA 140	S235	HEA 140	S235
7	HEA 180	S235	HEB 160	S235
6	HEB 180	S235	HEB 200	S235
5	HEB 200	S235	HEB 220	S235
4	HEB 220	S235	HEB 240	S235
3	HEB 240	S235	HEB 260	S235
2	HEB 240	S235	HEB 280	S235
1	HEB 260	S235	HEB 280	S235

Iterazione intermedia con P-Delta

Confronto delle altre sezioni

Piano	iterazione intermedia		iterazione con effetti P-Delta	
	Sezione	Acc	Sezione	Acc
8	HEB 120	S235	HEB 140	S235
7	HEB 120	S235	HEB 140	S235
6	HEB 160	S235	HEB 180	S235
5	HEB 160	S235	HEB 180	S235
4	HEB 180	S235	HEB 200	S235
3	HEB 180	S235	HEB 200	S235
2	HEB 180	S235	HEB 200	S235
1	HEB 180	S235	HEB 200	S235

Piano	iterazione intermedia		iterazione con effetti P-Delta	
	Sezione	Acc	Sezione	Acc
8	HEA 180	S235	HEA 180	S235
7	HEA 180	S235	HEA 180	S235
6	HEB 220	S235	HEB 240	S235
5	HEB 220	S235	HEB 240	S235
4	HEB 280	S275	HEB 320	S275
3	HEB 280	S275	HEB 320	S275
2	HEB 400	S275	HEB 400	S355
1	HEB 400	S275	HEB 400	S355

Controventi

Colonne

Iterazione intermedia con P-Delta

Verifica dello stato limite di danneggiamento

Si e' assunto
uno spostamento relativo limite

$\delta_{lim} = 0.0050 h = 16.50 \text{ mm}$



La struttura andrebbe ulteriormente
irrigidita per verificare
il requisito di normativa

iterazione con effetti P-Delta		
Piano	δ (mm)	δ_{lim} (mm)
8	17.49	16.50
7	19.11	16.50
6	17.12	16.50
5	16.54	16.50
4	14.68	16.50
3	13.00	16.50
2	10.36	16.50
1	8.72	16.50

FINE