

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

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

6 - Combinazioni di carico

Spoletto
3-4 febbraio 2011

Edoardo M. Marino

Analisi strutturale

Nel passato:

- Carichi verticali, col loro valore massimo $g_k + q_k$ se si usa il metodo delle tensioni ammissibili
- Forze in direzione x, con analisi statica o modale; masse valutate con $g_k + s q_k$
- Forze in direzione y

Quindi:

- 3 schemi base
- da combinare in 4 schemi
 - $q \pm F_x$
 - $q \pm F_y$

Analisi strutturale

Nel passato:

- Carichi verticali, col loro valore massimo $g_k + q_k$ se si usa il metodo delle tensioni ammissibili
- Forze in direzione x, con analisi statica o modale; masse valutate con $g_k + s q_k$
- Forze in direzione y

Oggi, necessità di:

- Distinguere tra carichi verticali in assenza di sisma (maggiori) e in presenza di sisma (minori)
- Tener conto dell'eccentricità accidentale
- Combinare l'effetto delle diverse componenti del sisma

Conseguenze per l'analisi strutturale

Oggi, necessità di:

- Distinguere tra carichi verticali in assenza di sisma (maggiori) e in presenza di sisma (minori)
- Tener conto dell'eccentricità accidentale
- Combinare l'effetto delle diverse componenti del sisma

Quindi:

- Un numero di schemi da calcolare molto più alto

Quanti?

Quante combinazioni di carico?

In presenza di sisma:

- 1 • carico verticale con valore ridotto ($g_k + \psi_2 q_k$) su tutte le campate di trave
- 2 • forze sismiche (statiche o modali) in direzione x / y
- 4 • verso delle forze sismiche: positivo / negativo
- 8 • eccentricità accidentale: positiva / negativa
- 16 • forze in una direzione più 0.3 forze nell'altra direzione, prese col segno: positivo / negativo
- 32 • eccentricità nell'altra direzione: positiva / negativa

Combinazioni di carico sismiche

Azione sismica principale	segno	eccentricità	Azione sismica secondaria	eccentricità	N° comb.
E_x	+	$+ e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	1
				$- e_x$	2
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	3
				$- e_x$	4
		$- e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	5
				$- e_x$	6
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	7
				$- e_x$	8
	-	$+ e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	9
				$- e_x$	10
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	11
				$- e_x$	12
		$- e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	13
				$- e_x$	14
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	15
				$- e_x$	16
E_y	+	$+ e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	17
				$- e_y$	18
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	19
				$- e_y$	20
		$- e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	21
				$- e_y$	22
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	23
				$- e_y$	24
	-	$+ e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	25
				$- e_y$	26
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	27
				$- e_y$	28
		$- e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	29
				$- e_y$	30
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	31
				$- e_y$	32

Tante combinazioni di carico...

Come gestirle?

Risultati dettagliati degli schemi base, più inviluppo dei risultati di tutte le combinazioni di carico?

Dai risultati di ciascuno schema base posso capire il comportamento della struttura

L'inviluppo mi fornisce il giudizio complessivo

Schemi base suggeriti:

1. carichi verticali max (senza sisma)
2. carichi verticali min (con sisma)
3. forze in direzione x (statiche o modali)
4. forze in direzione y (statiche o modali)
5. eccentricità accidentale x forze in dir. x
6. eccentricità accidentale x forze in dir. y

coppie (statiche)



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 ed elaborati grafici

4. Analisi strutturale: fasi di lavoro

4.1. Definizione dei carichi unitari

4.2. Valutazione dei carichi sulle travi

4.3. Valutazione delle masse di piano

4.4. Valutazione delle forze orizzontali (nel caso di analisi statica) e delle eccentricità

4.5. Definizione del modello della struttura

4.6. Risoluzione degli schemi base

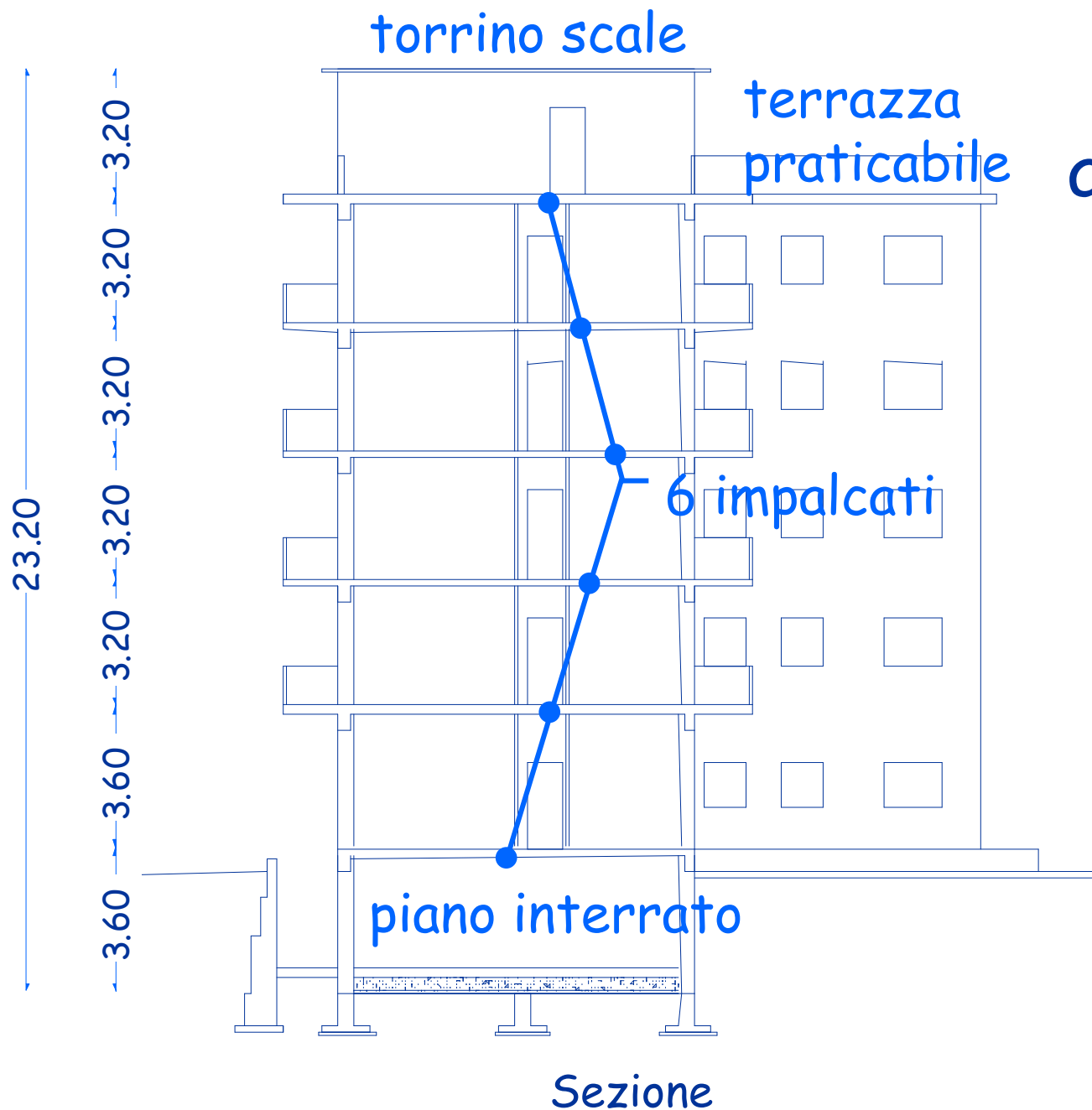
*scorrere
rapidamente*

Esempio

Edificio analizzato

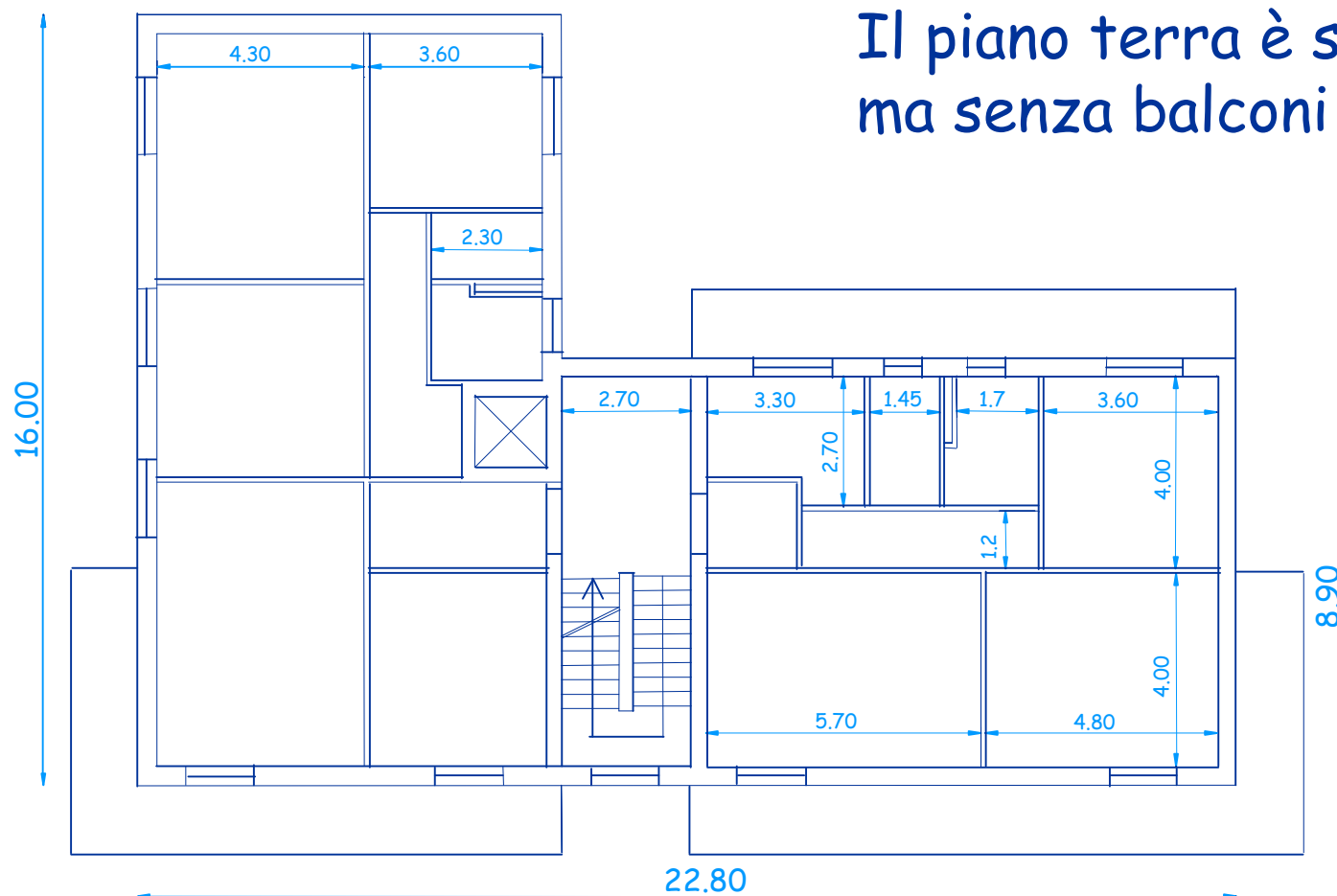
Sismicità media
= zona 2

Terreno
costituito da
sabbie e ghiaie
mediamente
addensate



Piano tipo

Il piano terra è simile,
ma senza balconi



rapido cenno

4.1. Carichi unitari

Carichi unitari

Si procede come si è soliti fare, determinando per ciascun elemento i valori caratteristici dei carichi permanenti e variabili

Esempio:

Solaio del piano tipo

Peso proprio	2.80 kN/m ²
Pavimento, intonaco, massetto	1.20
Totale carichi permanenti	$g_{1k} = 4.00 \text{ kN/m}^2$
Incidenza tramezzi	$g_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$
Carichi variabili	$q_k = 2.00 \text{ kN/m}^2$

Coefficienti parziali di sicurezza per carichi permanenti e variabili

			EQU	STR	GEO
Carichi permanenti strutturali	γ_{G1}	favorevoli	0.9	1.0	1.0
Carichi permanenti non strutturali ma compiutamente definiti		sfavorevoli	1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti non strutturali non compiutamente definiti	γ_{G2}	favorevoli	0.0	0.0	0.0
Carichi variabili	γ_Q	sfavorevoli	1.5	1.5	1.3

Carichi unitari

Si procede come si è soliti fare, determinando per ciascun elemento i valori caratteristici dei carichi permanenti e variabili

Esempio:

Solaio del piano tipo $g_{1k} = 4.00 \text{ kN/m}^2$ $q_k = 2.00 \text{ kN/m}^2$
 $g_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$

Si determinano i valori di calcolo in assenza di sisma, moltiplicando g_k e q_k per γ_g e γ_q

$$\gamma_{g1} g_{1k} = 5.20 \text{ kN/m}^2 \quad \gamma_q (g_{2k} + q_k) = 4.80 \text{ kN/m}^2 \quad \gamma_g g_k + \gamma_q q_k = 10.00 \text{ kN/m}^2$$

e quelli in presenza di sisma, moltiplicando q_k per ψ_2

$$g_k = 5.20 \text{ kN/m}^2 \quad \psi_2 q_k = 0.60 \text{ kN/m}^2 \quad g_k + \psi_2 q_k = 5.80 \text{ kN/m}^2$$

Carichi unitari

I valori per l'edificio in esame sono riepilogati qui

	g_k kN/m ²	q_k kN/m ²	TOTALE senza sisma	TOTALE con sisma
Solaio piano tipo (escl. tramezzi)	4.00	2.00	8.20	4.60
Solaio piano tipo (incid.tramezzi)	1.20	---	1.80	1.20
Solaio copertura	4.20	2.00	8.46	4.80
Solaio torrino scala	3.40	0.50	5.17	3.40
Balcone piano tipo	4.20	4.00	11.46	6.60
Sbalzo copertura, cornicione	3.90	0.50	5.82	3.90
Scala	5.00	4.00	12.50	7.40
				segue...

Carichi unitari

I valori per l'edificio in esame sono riepilogati qui

... seguito	g_k kN/m	q_k	TOTALE senza sisma	TOTALE con sisma
Travi 80x 26	2.90	---	3.77	2.90
Travi 60 x 26	2.20	---	2.86	2.20
Travi 80x 18	1.90	---	2.47	1.90
Tamponature	7.00	---	9.10	7.00
Tramezzi	3.00	---	3.90	3.00
Pilastri 30 x 50	7.95	---	10.34	7.95
Pareti	22.50	---	29.25	22.50

rapido cenno

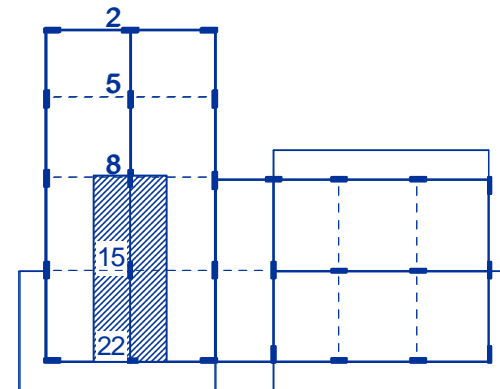
4.2. Carichi sulle travi

Carichi sulle travi

Si procede come si è soliti fare, determinando per ciascuna campata di ogni trave i valori caratteristici dei carichi permanenti g_k e variabili q_k

Esempio:

Trave 22-2, piano tipo



Campate 22-15, 15-8	g_{1k} [kN/m]	g_{2k} [kN/m]	q_k [kN/m]
Solaio 1.15 x 4.25 m	19.55	5.87	9.78
Peso proprio	2.90		
Totale	22.45	5.87	9.78

Carichi sulle travi

Si procede come si è soliti fare, determinando per ciascuna campata di ogni trave i valori caratteristici dei carichi permanenti g_k e variabili q_k

Esempio:

Trave 22-2, piano tipo - Campate 22-15, 15-8

$$g_{1k} = 22.45 \text{ kN/m} \quad g_{2k} + q_k = 15.64 \text{ kN/m}$$

Si determinano i valori di calcolo in assenza di sisma, moltiplicando g_k e q_k per γ_g e γ_q

$$\gamma_g g_{1k} = 29.19 \text{ kN/m} \quad \gamma_q (g_{2k} + q_k) = 23.46 \text{ kN/m} \quad \gamma_g g_k + \gamma_q q_k = 52.65 \text{ kN/m}$$

e quelli in presenza di sisma, moltiplicando q_k per ψ_2

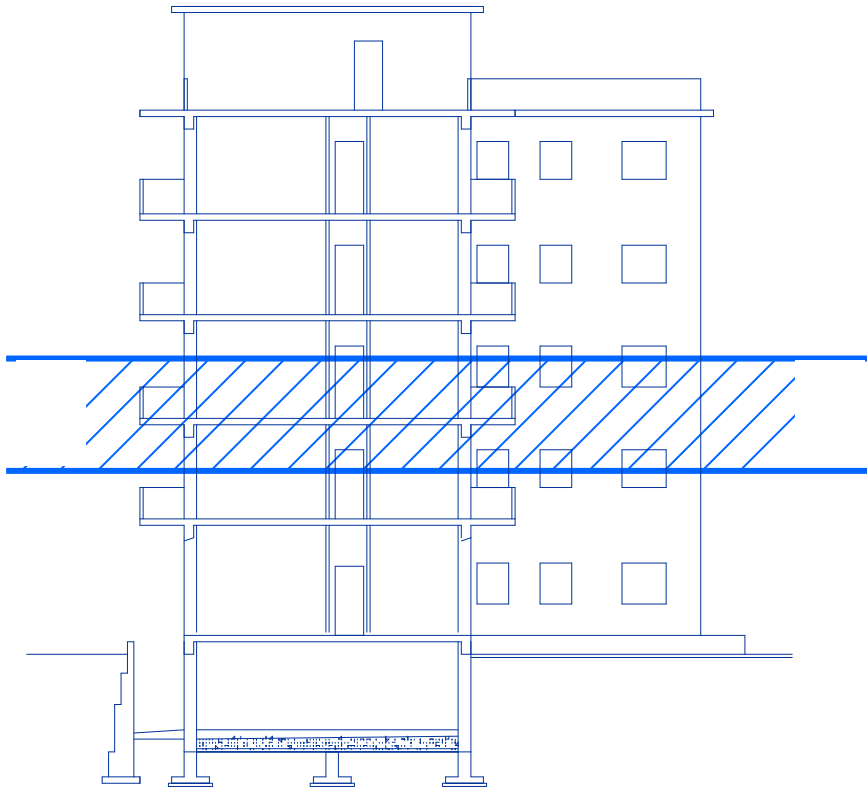
$$g_k = 28.32 \text{ kN/m} \quad \psi_2 q_k = 2.93 \text{ kN/m} \quad g_k + \psi_2 q_k = 31.25 \text{ kN/m}$$

4.3. *Masse di piano*

Determinazione delle masse di piano

Procedimento rigoroso:

- individuare gli elementi presenti ad ogni impalcato



le masse che si sviluppano lungo l'altezza (pilastri, tamponature, tramezzi) devono essere riportate agli impalcati inferiore e superiore

Masse del piano tipo - esempio

Tipo carico	Impalcato tipo	
	Q.ta	Peso (kN)
Solaio del piano tipo	239.2	1100.3
Solaio di copertura		
Solaio torrino scala		
Sbalzo piano tipo		
Sbalzo copertura		
Cornicione		
Scala		
Travi 80 x 26		
Travi 60 x 26		
Travi 80 x 18		
Tamponature		
Tramezzi		
Pilastri 30 x 50		
Pareti		

Peso a m², in presenza di sisma (escluso incidenza tramezzi)

$$239.2 \times 4.60 = 1100.3 \text{ kN}$$

superficie complessiva del solaio (incluso lo spazio occupato da travi, ecc.) in m²

Masse di piano - esempio

Tipo carico	Impalcato tipo	
	Q.ta	Peso (kN)
Solaio del piano tipo	239.2	1100.3
Solaio di copertura	--	--
Solaio torrino scala	--	--
Sbalzo piano tipo	60.3	398.0
Sbalzo copertura		
Cornicione		
Scala		
Travi 80 x 26		
Travi 60 x 26		
Travi 80 x 18		
Tamponature		
Tramezzi		
Pilastri 30 x 50		
Pareti		

Peso a m², in
presenza di
sisma

$$60.3 \times 6.60 = 398.0 \text{ kN}$$

superficie
complessiva
degli sbalzi,
in m²

Masse di piano - esempio

Tipo carico	Impalcato tipo	
	Q.ta	Peso (kN)
Solaio del piano tipo	239.2	1100.3
Solaio di copertura	--	--
Solaio torrino scala	--	--
Sbalzo piano tipo	60.3	398.0
Sbalzo copertura	--	--
Cornicione	--	--
Scala	24.0	177.6
Travi 80 x 26	101.2	293.5
Travi 60 x 26	52.2	114.8
Travi 80 x 18	--	--
Tamponature	52.2	365.4
Tramezzi		
Pilastri 30 x 50		
Pareti		

Lunghezza totale
delle tamponature
sup. e inf. (in m)
diviso 2

$$\frac{58 + 58}{2} \times 0.9$$

Riduzione
per tener
conto
delle
aperture

Peso a m

$$52.2 \times 7.00 = 365.4 \text{ kN}$$

Masse di piano - esempio

Tipo carico	Impalcato tipo	
	Q.ta	Peso (kN)
Solaio del piano tipo	239.2	1100.3
Solaio di copertura	--	--
Solaio torrino scala	--	--
Sbalzo piano tipo	60.3	398.0
Sbalzo copertura	--	--
Cornicione	--	--
Scala	24	177.6
Travi 80 x 26	101.2	293.5
Travi 60 x 26	52.2	114.8
Travi 80 x 18	--	--
Tamponature	52.2	365.4
Tramezzi	62.4	187.2
Pilastri 30 x 50		
Pareti		

Lunghezza totale
dei tramezzi
sup. e inf. (in m)
diviso 2

con riduzione per
tener conto delle
aperture

Masse di piano - esempio

Tipo carico	Impalcato tipo	
	Q.ta	Peso (kN)
Solaio del piano tipo	239.2	1100.3
Solaio di copertura	--	--
Solaio torrino scala	--	--
Sbalzo piano tipo	60.3	398.0
Sbalzo copertura	--	--
Cornicione	--	--
Scala	24	177.6
Travi 80 x 26	101.2	293.5
Travi 60 x 26	52.2	114.8
Travi 80 x 18	--	--
Tamponature	52.2	365.4
Tramezzi	62.4	187.2
Pilastri 30 x 50	19	151.1
Pareti	26.5	596.3

Si ottiene
così il peso
totale
dell'impalcato

$$W = 3384.1 \text{ kN}$$

Massa = peso
diviso
accelerazione
di gravità

$$M = \frac{3384.1}{9.81} = 345.96 \text{ t}$$

E così per gli altri impalcati

	Torrino		VI impalcato	
Tipo carico	Q.ta	Peso (kN)	Q.ta	Peso (kN)
Solaio del piano tipo	--	--	--	--
Solaio di copertura	--	--	239.2	1148.2
Solaio torrino scala	36.0	122.4	--	--
Sbalzo piano tipo	--	--	--	--
Sbalzo copertura	--	--	60.3	235.2
Cornicione	12.0	46.8	13.3	51.9
Scala	--	--	19.1	141.3
Travi 80 x 26	--	--	101.2	293.5
Travi 60 x 26	--	--	52.2	114.8
Travi 80 x 18	27.0	51.3	--	--
Tamponature	13.5	94.5	39.6	277.2
Tramezzi	--	--	31.2	93.6
Pilastri 30 x 50	3	23.9	12.5	99.4
Pareti	--	--	13.3	298.1

Riepilogo dei valori calcolati

impalcato	peso W kN	massa M t	area m ²	peso medio
Torrino	338.9	34.55	48.0	7.06
VI	2753.2	280.65	331.9	8.30
V, IV, III, II	3384.1	344.96	323.5	10.46
TOTALE	16628.5	1695.06		

Confronto con i valori stimati

impalcato	peso W kN	peso medio kN/m ²	peso stimato	peso medio stimato
Torrino + VI	3092.1	8.13	3419	9.0
V, IV, III, II	3384.1	10.46	3559	11.0
TOTALE	16628.5		17655.0	

differenza del 6% sul totale

Baricentro e raggio d'inerzia delle masse

Procedimento rigoroso:

- individuare gli elementi presenti ad ogni impalcato
- di ciascun elemento, calcolare peso, coordinate del baricentro, momento d'inerzia baricentrico
- calcolare il baricentro complessivo
- calcolare il momento d'inerzia complessivo ($I_x + I_y$) e quindi il raggio d'inerzia r_m

$$r_m = \sqrt{\frac{I}{W}}$$

serve solo per
analisi modale

molto faticoso

Baricentro e raggio d'inerzia delle masse

Procedimento alternativo:

- ipotizzare le masse uniformemente distribuite nell'impalcato (incluso sbalzi)
- determinare il baricentro dell'impalcato
- calcolare il momento d'inerzia dell'impalcato e quindi il raggio d'inerzia

si può fare
anche con Autocad

Nell'esempio

Ipotizzando masse uniformemente distribuite nell'impalcato

impalcato	peso W kN	x m	y m	r_m m
Torrino	338.9	9.75	4.86	3.24
VI	2753.2	10.20	5.89	8.51
Torrino + VI	3092.1	10.14	5.76	8.05
V, IV, III, II	3384.1	10.35	5.64	8.38

4.4. Forze orizzontali

Forze orizzontali per analisi statica

Il procedimento di determinazione delle forze è identico a quanto descritto in precedenza:

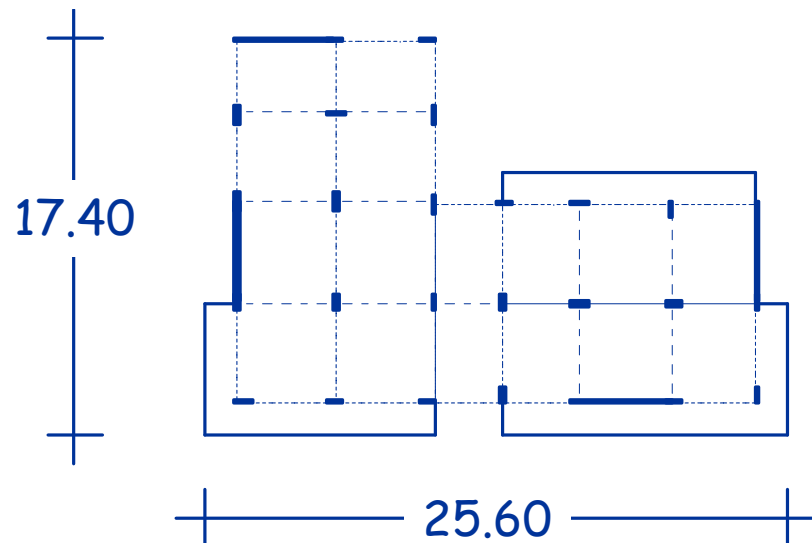
- definizione del fattore di struttura
(nell'esempio, se bassa duttilità $q = 3.0$)
- stima del periodo proprio della struttura
(nell'esempio, $T_1 = 0.407$ s)
- determinazione dell'accelerazione spettrale
(nell'esempio $a_g = 0.269$ g)

Forze per analisi statica

Piano	Peso W (kN)	Quota z (m)	Wz (kNm)	Forza F (kN)
Torrino+VI	3092.1	16.40	50710.4	1172.7
V	3384.1	13.20	44670.1	1033.0
IV	3384.1	10.00	33841.0	782.6
III	3384.1	6.80	23011.9	532.1
II	3384.1	3.60	12182.8	281.7
somma	16628.5		164416.2	

Eccentricità accidentale

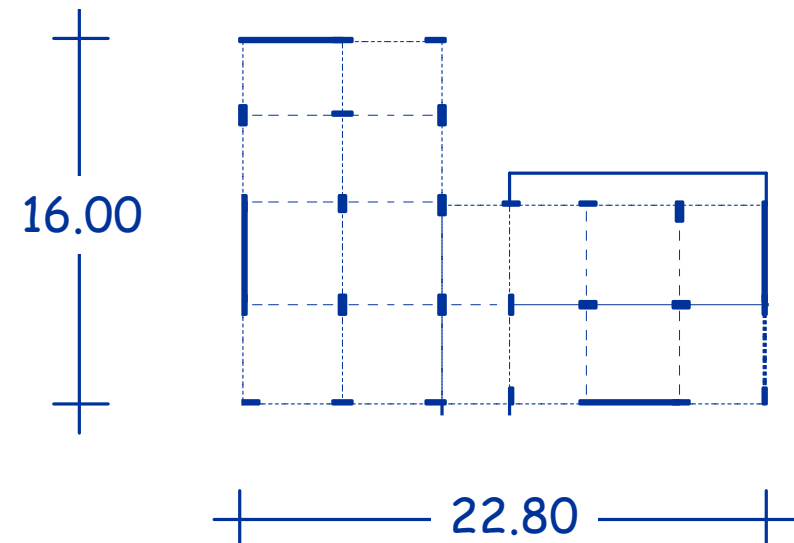
Nell'esempio



Impalcato tipo (con sbalzi)

per F_x $e_a = 0.05 \times 17.40 = 0.87 \text{ m}$

per F_y $e_a = 0.05 \times 25.60 = 1.28 \text{ m}$



I impalcato (senza sbalzi)

Per le NTC08 si usano le
stesse eccentricità

Eccentricità accidentale

Coppie da considerare

	Forze in direzione x			Forze in direzione y		
Piano	F (kN)	e_a (m)	M (kNm)	F (kN)	e_a (m)	M (kNm)
Torrino+VI	1172.7	0.87	1020.2	1172.7	1.28	1501.1
V	1033.0	0.87	898.7	1033.0	1.28	1322.2
IV	782.6	0.87	680.9	782.6	1.28	1001.7
III	532.1	0.87	462.9	532.1	1.28	681.1
II	281.7	0.87	245.1	281.7	1.28	360.6