

Corso di aggiornamento

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

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

6 - Combinazioni di carico

Imola

23-25 giugno 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

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 30x 50 | 2.90 | --- | 3.77 | 2.90 |
| Travi 60 x 26 | 2.20 | --- | 2.86 | 2.20 |
| 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

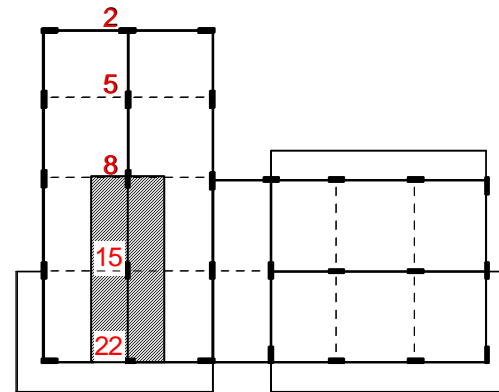
4.2. Carichi sulle travi

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 | <u>2.90</u> | | |
| Totale | 22.45 | <u>5.87</u> | <u>9.78</u> |

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

$$g_{1k} = 22.45 \text{ kN/m}$$

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

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

$$g_k = 28.32 \text{ kN/m}$$

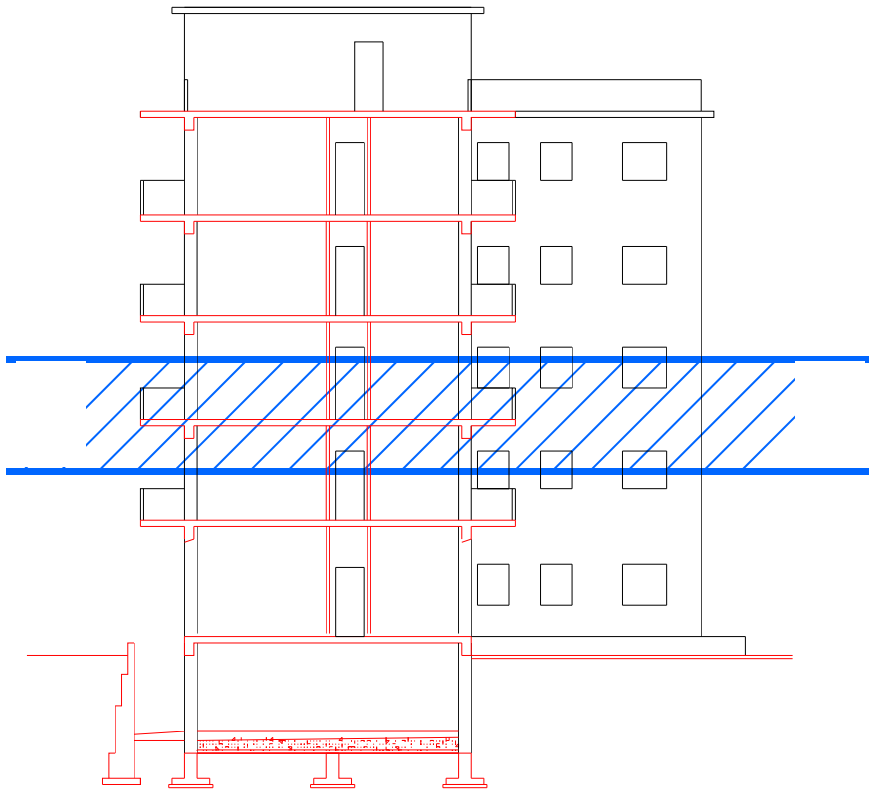
$$\psi_2 q_k = 2.93 \text{ kN/m}$$

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

4.3. Masse di piano

Determinazione delle masse di piano

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 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 30 x 50 | 101.2 | 293.5 |
| Travi 60 x 26 | 52.2 | 114.8 |
| 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 30 x 50 | 27.0 | 51.3 | 101.2 | 293.5 |
| Travi 60 x 26 | -- | -- | 52.2 | 114.8 |
| 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

- 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

| 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:

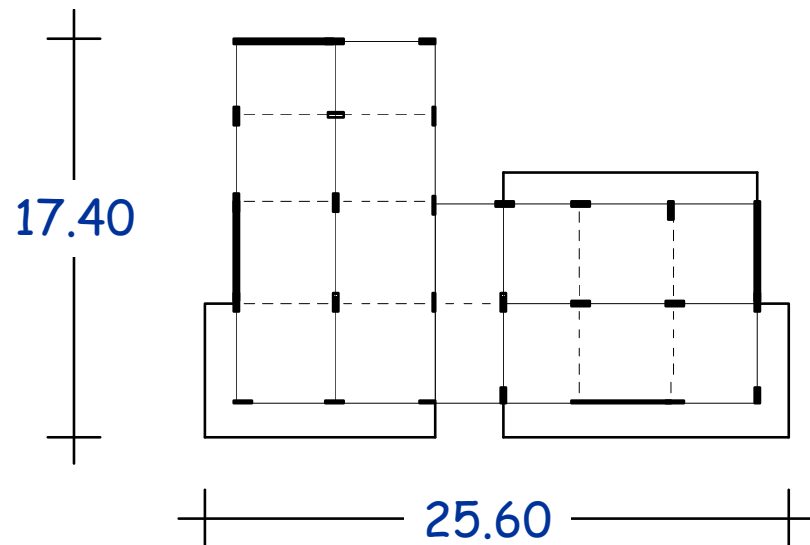
- definizione del fattore di struttura
(nell'esempio, se bassa duttilità $q = 3.0$)
- stima del periodo proprio della struttura
(nell'esempio, $T_1 = 0.407$ s)
- determinazione dell'accelerazione spettrale
(nell'esempio $a_g = 0.269$ g)
- Calcolo del taglio alla base e distribuzione lungo l'altezza

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

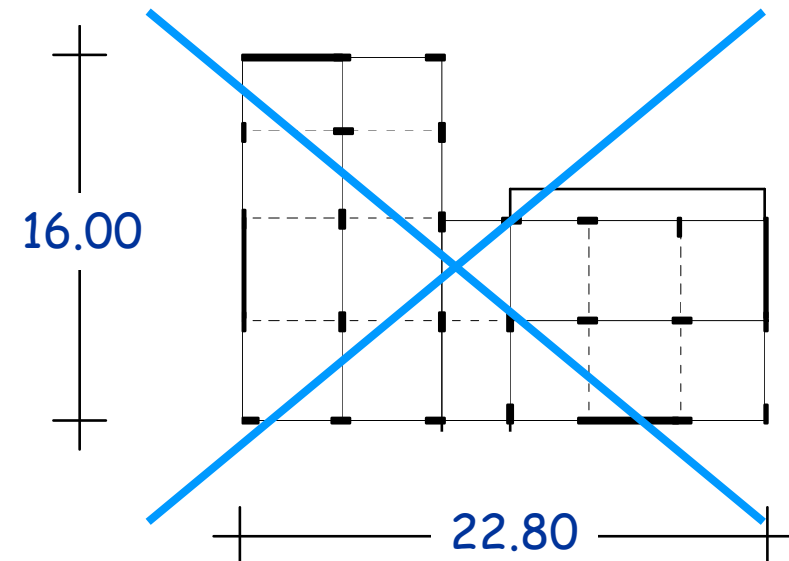
Nell'esempio



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 |