

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

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

10 - Verifica dell'impalcato

Spoletto
3-4 febbraio 2011
Aurelio Ghersi

Verifica dell'impalcato

Due diversi aspetti:

- Verifica di rigidezza
 - Controllare se l'ipotesi di impalcato rigido è valida
 - Eventualmente, rimuoverla o fare considerazioni sull'effetto della sua deformazione
- Verifica di resistenza
 - Determinare lo stato tensionale nell'impalcato
 - Controllare se è accettabile
 - Eventualmente, aggiungere specifiche armature

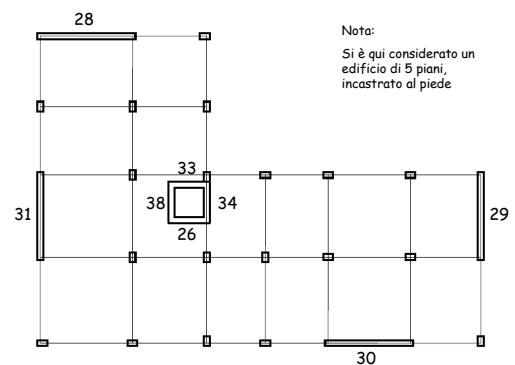
Azioni sull'impalcato

È opportuno far riferimento all'analisi statica o al modo predominante, più che all'involuppo modale

- Azione distribuita dovuta al sisma
 - Carico q a metro quadro di impalcato
$$q = \frac{F}{A} \quad \begin{array}{l} F = \text{forza di piano} \\ A = \text{area dell'impalcato} \end{array}$$
- Azioni concentrate dovute a pilastri e pareti
 - Differenza ΔV tra taglio degli elementi sopra e sotto l'impalcato

Queste azioni sono in equilibrio

Schema strutturale di esempio



Azioni sulle pareti taglio V per sisma y

Direzione y							
V							
Piano	par 31	par 38	par 34	par 29	Σ par	F	V tot
5	209.1	3.1	124.4	211.8	548.5	1143.8	1143.8
4	652.3	158.1	246.6	636.0	1693.0	984.6	2128.4
3	954.7	236.1	315.8	927.9	2434.6	745.9	2874.3
2	1195.5	307.7	369.4	1157.1	3029.8	507.2	3381.5
1	1261.5	450.6	473.3	1231.6	3417.0	238.3	3619.8
Piano	par 31	par 38	par 34	par 29	Σ par	Σ pil	
5	18.3	0.3	10.9	18.5	48.0	52.0	%
4	30.6	7.4	11.6	29.9	79.5	20.5	%
3	33.2	8.2	11.0	32.3	84.7	15.3	%
2	35.4	9.1	10.9	34.2	89.6	10.4	%
1	34.9	12.4	13.1	34.0	94.4	5.6	%

All'ultimo piano i pilastri portano più del 50%

Azioni sulle pareti forze (ΔV) per sisma y

ΔV							
Piano	par 31	par 38	par 34	par 29	Σ par	ΔV tot	
5	209.1	3.1	124.4	211.8	548.5	1143.8	
4	443.1	155.0	122.1	424.2	1144.5	984.6	
3	302.4	78.0	69.2	292.0	741.6	745.9	
2	240.8	71.6	53.7	229.2	595.2	507.2	
1	66.0	142.9	103.9	74.5	387.2	238.3	
Piano	par 31	par 38	par 34	par 29	Σ par	Σ pil	
5	18.3	0.3	10.9	18.5	48.0	52.0	%
4	45.0	15.7	12.4	43.1	116.2	-16.2	%
3	40.5	10.5	9.3	39.1	99.4	0.6	%
2	47.5	14.1	10.6	45.2	117.3	-17.3	%
1	27.7	60.0	43.6	31.3	162.5	-62.5	%

Notare come varia in termini di F il contributo dei pilastri

Azioni sulle pareti forze (ΔV) per sisma y

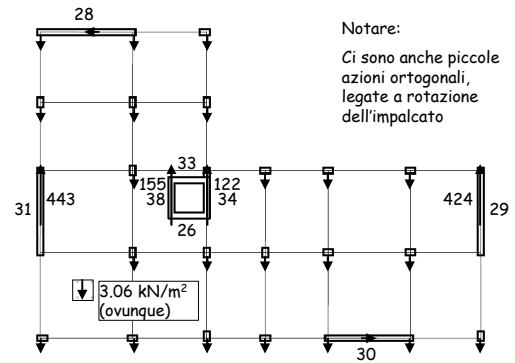
L'azione massima è al 5° impalcato

Ma la distribuzione delle forze varia da impalcato a impalcato

						ΔV tot	
						1143.8	
						984.6	
						745.9	
						507.2	
						238.3	
Piano	par 31	par 38	par 34	par 29	Σ par	Σ pil	
5	18.3	0.3	10.9	18.5	48.0	52.0	%
4	45.0	15.7	12.4	43.1	116.2	-16.2	%
3	40.5	10.5	9.3	39.1	99.4	0.6	%
2	47.5	14.1	10.6	45.2	117.3	-17.3	%
1	27.7	60.0	43.6	31.3	162.5	-62.5	%

Notare come varia in termini di F il contributo dei pilastri

Azioni al 4° impalcato



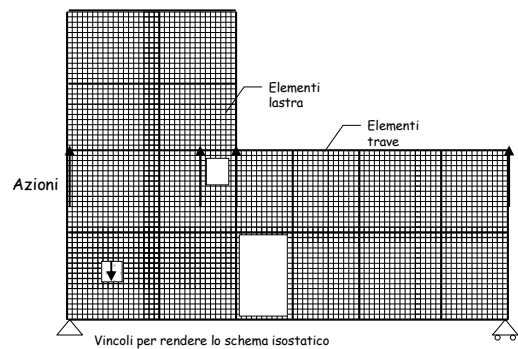
Modellazione

- L'impalcato è un oggetto libero ma soggetto ad azioni equilibrate
- Occorre comunque mettere dei vincoli (isostatici) per utilizzare qualunque programma di calcolo
- Le reazioni vincolari dovrebbero essere nulle

Modelli possibili:

- Discretizzazione con elementi finiti
- Modello di trave (considerando anche deformazione a taglio)

Modello agli elementi finiti



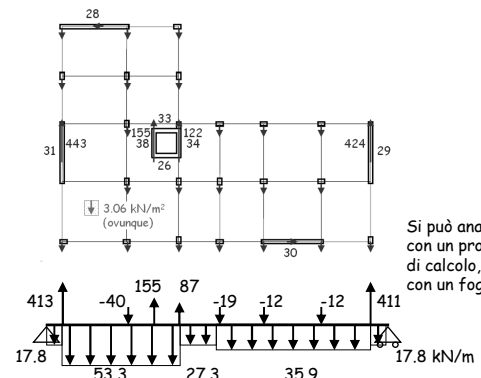
Modello agli elementi finiti

Il modello fornisce:

- La deformazione della lastra
- Lo stato tensionale in ogni punto della lastra (e delle travi)
- Da questi risultati può essere espresso il giudizio sulla rigidità e valutata la resistenza (o l'armatura necessaria)

Ottimo, ma richiede un programma adatto e la capacità di usarlo bene

Modello di trave (con deformazione a taglio)



Si può analizzare con un programma di calcolo, ma anche con un foglio Excel

Shear force diagram for a continuous beam with three spans (10m, 10m, 10m). The beam has a pin support at the left end and a roller support at the right end. The diagram shows a constant shear force of 17.8 kN/m in the first span, dropping to -53.3 kN/m at the first support. In the second span, it starts at 27.3 kN/m, crosses zero at 2.5m, and reaches -12 kN/m at the second support. In the third span, it starts at 17.8 kN/m and remains constant until the right support.

Nota: occorrerebbe aggiungere anche le azioni ortogonali, che diventano forze assiali e coppie concentrate
In prima approssimazione le trascuro

telao	---	6 (y)	7 (y)	14 (y)	8 (y)
x	-1.40	0.15	4.85	7.15	8.65
x'	0.00	1.55	6.25	8.55	10.05
ΔV	0	413.782	-40.124	155.006	87.368
Δx		1.55	4.70	2.30	1.50
h		5.80	17.40	17.40	17.40
Area		8.99	81.78	40.02	26.1
q [kN/m]	-17.77	-53.32	-53.32	-53.32	-53.32
x	-0.63	2.50	6.00	7.90	7.90
x'	0.78	3.90	7.40	9.30	9.30
ΔV	-27.55	-250.63	-122.65	-79.99	

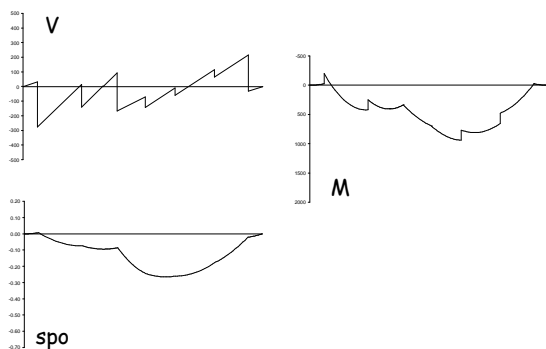
R1	0.00	26.72	-388.73	212.44	30.33	87.19	-103.24	50.93	-53.07
R2	0.00	0.83	-25.05	38.18	9.80	35.45	-51.77	29.06	-34.30
R	8.09								
M corr			-51.77		-51.77				

Deformata

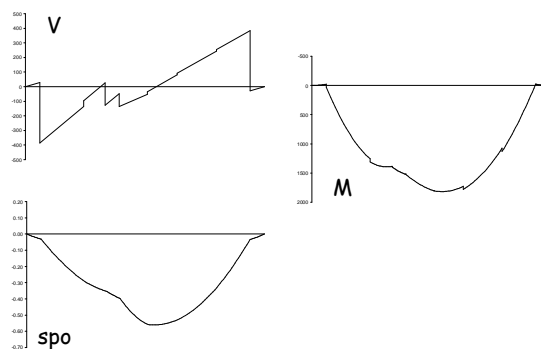
Nota: tracciata la deformazione tagliata la deformazione è meno della reale

Nota: trascurando la deformazione a taglio la deformata è meno della metà

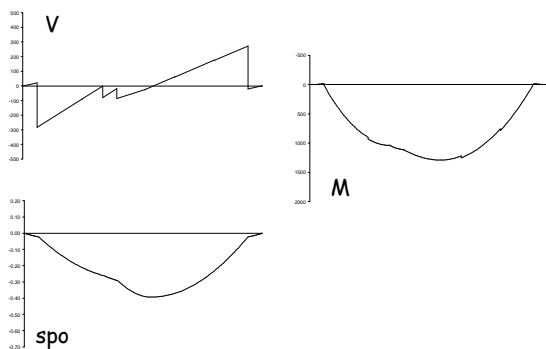
Confronto: impalcato 5



Confronto: impalcato 4



Confronto: impalcato 3



Verifica della rigidezza dell'impalcato

- Confrontare la deformazione massima (o, meglio, la sua variazione da un piano all'altro) con lo spostamento relativo di interpiano

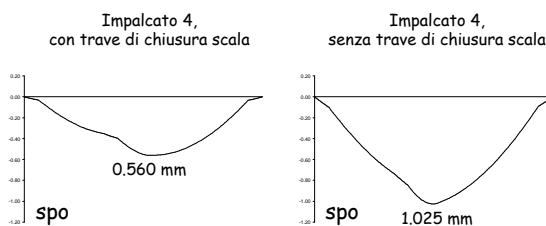
SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DEI TRAVERSI

traverso	spostamento assoluto (mm)	spostamento relativo (mm)	Def. Max (mm)
5	11.064	2.731	0.265
4	8.333	2.737	0.560
3	5.596	2.521	0.393
2	3.075	1.989	
1	1.086	1.086	

Sono valori di un certo rilievo, ma comunque accettabili

Verifica della rigidezza dell'impalcato

- Nota: se fosse mancata a livello impalcato la trave di chiusura scala la deformazione sarebbe stata molto maggiore



Verifica di resistenza degli impalcati

- Gli orizzontamenti devono essere in grado di trasmettere le forze ottenute dall'analisi, aumentate del 30 % (NTC08, punto 7.3.6.1)
- Quindi i risultati innanzi ottenuti devono essere aumentati del 30%

Verifica a taglio

- Massimo taglio di calcolo = 383.8 kN
Incremento del 30%: $383.8 \times 1.3 = 498.9$ kN
- Oppure, facendo riferimento al massimo ΔV trasmesso da una parete (par 31) = 443.1 kN
Incremento del 30%: $443.1 \times 1.3 = 576.0$ kN

Con questi valori verifico il calcestruzzo e l'armatura a taglio

Verifica a taglio

Verifica calcestruzzo:

- A vantaggio di sicurezza, mi riferisco solo alla lunghezza della parete (4.50 m) e $\cot \theta = 1$

$$V_{Rd,max} = \frac{0.5 f_{cd} b z}{2} = \frac{0.5 \times 16.67 \times 40 \times 0.9 \times 4500}{2 \times 10^3} = 675 \text{ kN}$$

OK

Calcolo armatura:

- Per un metro

$$A_s = \frac{V_{Ed} s}{z f_{yd}} = \frac{570 \times 10^3 \times 1}{4.5 \times 391.3} \times 10^{-2} = 3.24 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

- Posso disporre 1Ø8/15  Infittire localmente l'usuale rete Ø8/25x25

Verifica a taglio

Si possono usare anche modelli a tirante e puntone

- Tirante: l'armatura messa ortogonalmente alla parete (ad esempio nella trave adiacente)
- Puntone: una diagonale in calcestruzzo, di spessore pari alla soletta ed opportuna larghezza

Un modello del genere può essere molto utile per verificare edifici esistenti, se consente di non intervenire con armature nella soletta

Verifica a flessione

- Massimo momento di calcolo = 1818 kNm
Incremento del 30%: $1818 \times 1.3 = 2363$ kNm
In prossimità della scala ($h_{imp} = 8.90$ m)

Verifica approssimata:

- Si considera il momento flettente come due forze opposte, con braccio pari all'interasse tra le travi di estremità (8.35 m)

$$F = \frac{M}{z} = \frac{2363}{8.35} = 283 \text{ kN}$$

- Si arma a tensoflessione una trave e si verifica a pressoflessione l'altra
- OK