

Corso di aggiornamento
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

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

12 - Verifica dell'impalcato

Bologna
10 gennaio 2013
Edoardo M. Marino

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

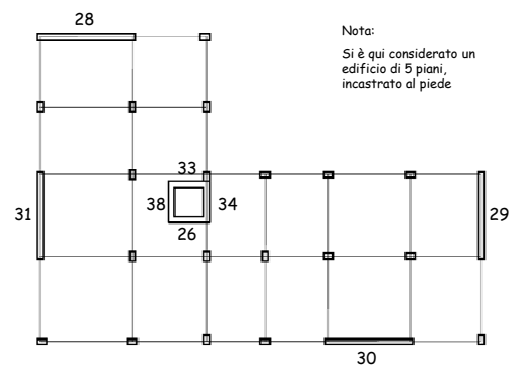
Azioni sull'impalcato

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	638.0	1693.0	984.6	2128.4
3	954.7	230.1	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	%

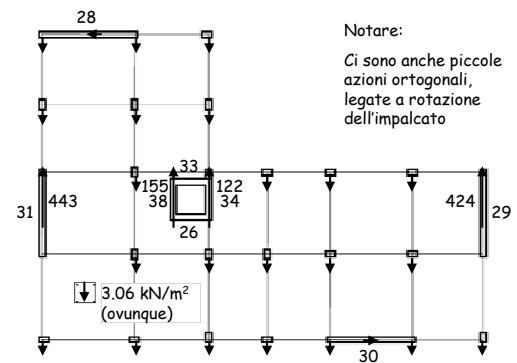
Azioni sulle pareti forze (ΔV) per sisma y

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	%

Azioni al 4° impalcato



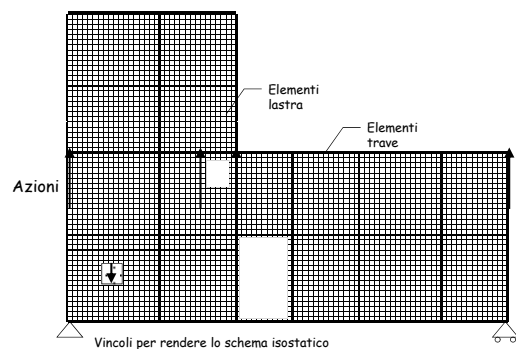
Modellazione

- 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



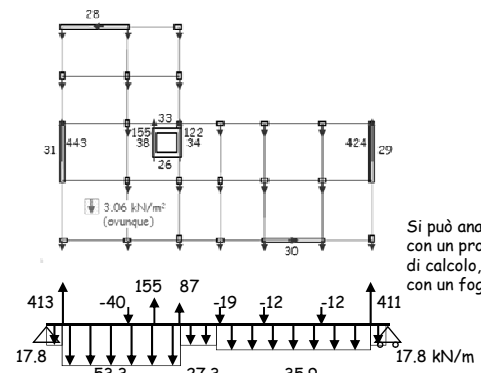
Modello agli elementi finiti

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

Modello di trave (con deformazione a taglio)

The diagram shows a horizontal beam with several vertical loads and reactions. From left to right, the loads and reactions are: a reaction of 413 (up), a distributed load of 17.8 (down), a point load of -40 (down), a point load of 155 (up), a point load of 87 (up), a point load of -19 (down), a point load of -12 (down), a point load of -12 (down), a point load of 411 (up), and a reaction of 17.8 (down). The beam is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The beam is divided into segments by these loads, with lengths of 53.3, 27.3, and 35.9 indicated below the beam.

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

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

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

Modello di trave (con deformazione a taglio)

telesia	---	6 (y)	7 (y)	14 (y)	8 (y)
x	-1.40	0.15	4.85	7.15	8.65
x'	0.00	1.55	6.26	8.55	10.05
ΔV	0	413.782	-40.124	155.005	87.388
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
x		-0.63	2.50	6.00	7.90
x'		0.78	3.90	7.40	9.30
ΔV		-27.65	-250.63	-122.65	-79.99

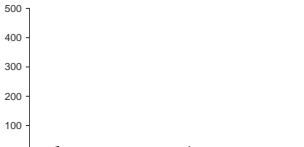
Vedi file Impalcato, Foglio Impalcato 4

Vedi file Impalcato. Foglio Impalcato 4

[illegible]

Modello di trave (con deformazione a taglio)

- Con condizioni di equilibrio si ricavano tagli e momenti flettenti

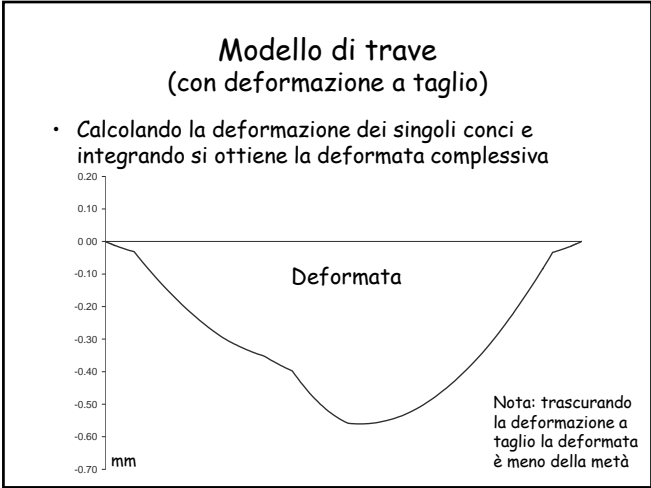


Il diagramma illustra la distribuzione delle forze di taglio lungo la trave. L'asse delle ordinate è graduato in kN, con intervalli di 100 unità. L'asse delle ascisse è etichettato 'Taglio'. La curva parte da un valore positivo (circa 20 kN), subisce un salto negativo a circa -400 kN, prosegue con una pendenza costante fino a un altro salto negativo a circa -150 kN, seguito da un salto positivo a circa -50 kN. Successivamente, la curva continua con una pendenza costante positiva, attraversa lo zero e termina con un salto positivo a circa 20 kN.

Modello di trave (con deformazione a taglio)

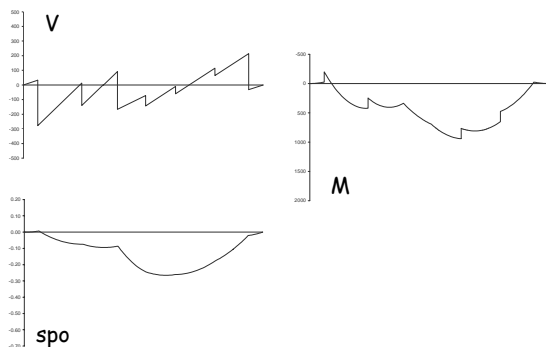
- Con condizioni di equilibrio si ricavano tagli e momenti flettenti

Il diagramma mostra la distribuzione del momento flettente lungo la lunghezza di una trave. L'asse verticale è etichettato con valori da -500 a 2000 kNm, con l'origine (0) in alto. L'asse orizzontale rappresenta la lunghezza della trave. La curva del momento flettente è simmetrica rispetto al centro della trave, dove raggiunge il valore massimo di 2000 kNm. La curva è composta da segmenti rettilinei e parabolici, con angoli di discontinuità che indicano la presenza di carichi concentrati. Il testo "Momento flettente" è scritto all'interno del grafico.

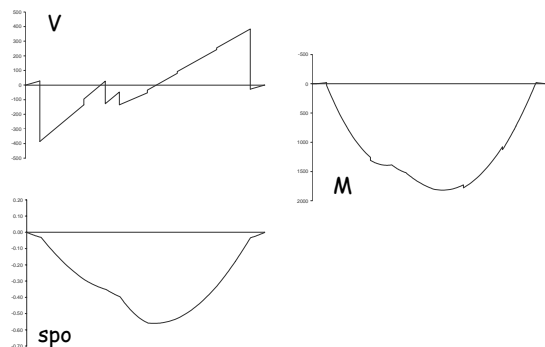


Nota: trascurando la deformazione a taglio la deformata è meno della metà

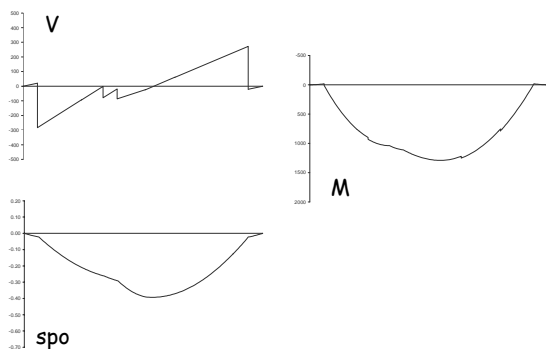
Confronto: impalcato 5



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

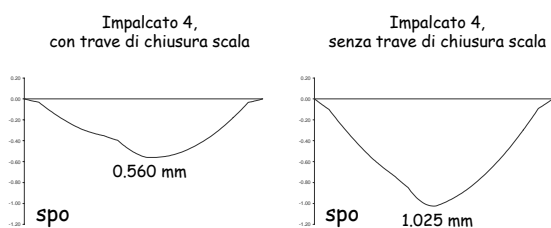
SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DEI TRAVERAT

travertino	spostamento assoluto (mm)	spostamento relativo (mm)	Def. Max (mm)
5	11.061	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

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

Verifica a taglio

- Massimo taglio di calcolo = 383.8 kN
Incremento del 30%: $383.8 \times 1.3 = 498.9$ kN

Calcolo armatura:

- Per un metro

$$A_s = \frac{V_{Ed} s}{z f_{yd}} = \frac{500 \times 10^3 \times 1}{4.5 \times 391.3} \times 10^{-2} = 2.84 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

- Posso disporre 1Ø8/15 \Rightarrow 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