

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

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

12 - Verifica dell'impalcato

Spoletto  
10-11 maggio 2012  
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

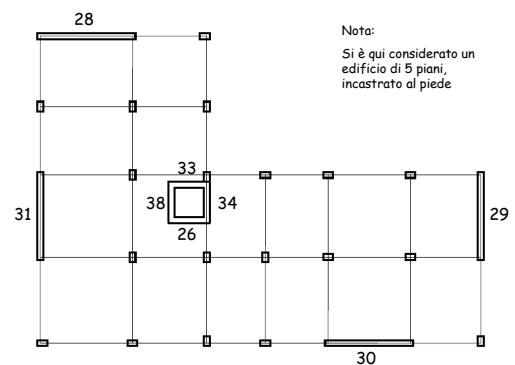
## Azioni sull'impalcato

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  $\Delta V$  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	$\Sigma$ 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	$\Sigma$ par	$\Sigma$ 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 ( $\Delta V$ ) per sisma $y$

$\Delta V$							
Piano	par 31	par 38	par 34	par 29	$\Sigma$ par	$\Delta V$ 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	$\Sigma$ par	$\Sigma$ 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

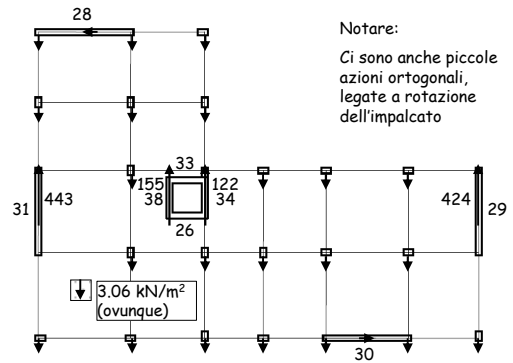
Azioni sulle pareti  
forze ( $\Delta V$ ) per sisma y

Ma la distribuzione delle forze varia da impalcato a impalcato

L'azione massima è al 5° impalcato							$\Delta V$ tot	
Ma la distribuzione delle forze varia da impalcato a impalcato							1143.8	
							984.6	
							745.9	
							507.2	
							238.3	
Piano	par 31	par 38	par 34	par 29	$\Sigma$ par	$\Sigma$ 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



Ci sono anche piccole azioni ortogonali, legate a rotazione dell'impalcato

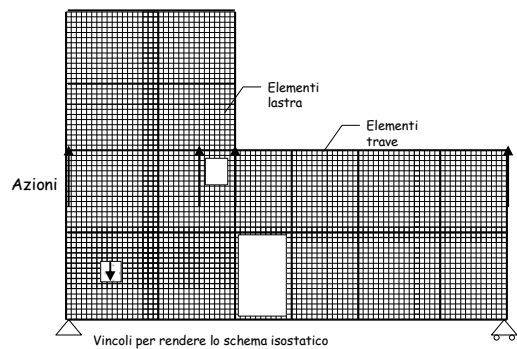
## Modellazione

- 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



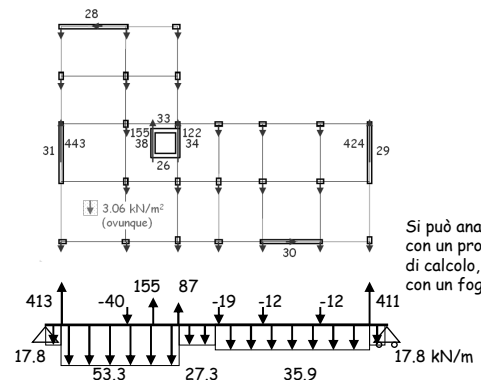
## Modello agli elementi finiti

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 rigidezza e valutata la resistenza (o l'armatura necessaria)

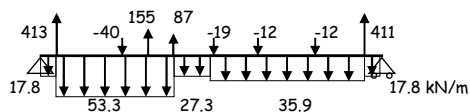
Ottimo, ma richiede un programma adatto  
e la capacità di usarlo bene

### 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)



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

### Modello di trave (con deformazione a taglio)

telaio	---	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
$\Delta V$	0	413.782	-40.124	155.006	87.368
$\Delta x$		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
$\Delta V$		-27.55	-250.63	-122.65	-79.99

Vedi file Impalcato, Foglio Impalcato 4

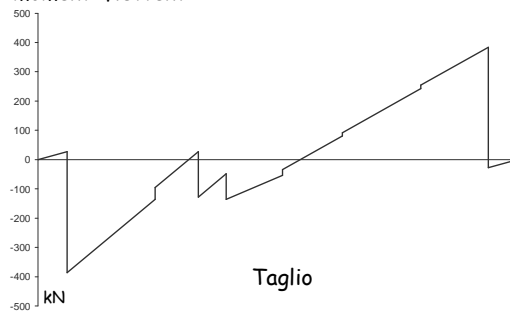
### Modello di trave (con deformazione a taglio)

- Con condizioni di equilibrio si ricavano le reazioni vincolari
- Dovrebbero essere nulle  
Se non lo sono rigorosamente posso aggiungere piccole coppie concentrate per annullarle

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				

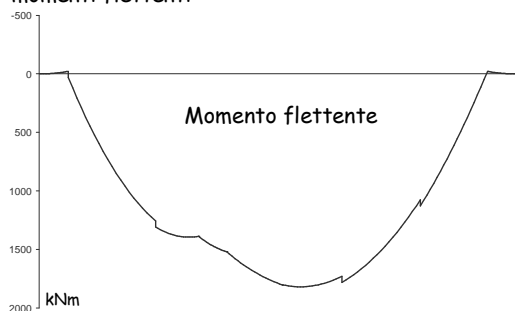
### Modello di trave (con deformazione a taglio)

- Con condizioni di equilibrio si ricavano tagli e momenti flettenti



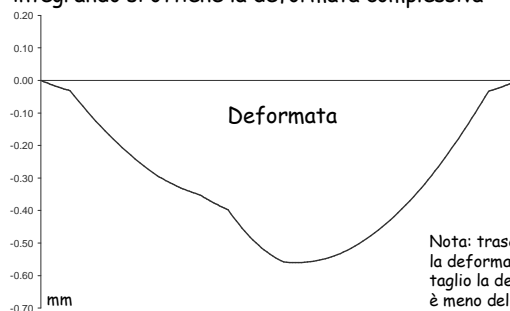
### Modello di trave (con deformazione a taglio)

- Con condizioni di equilibrio si ricavano tagli e momenti flettenti



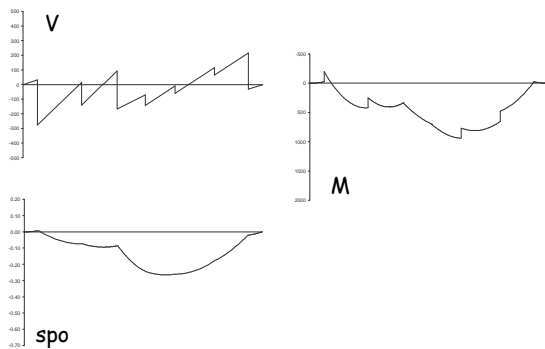
### Modello di trave (con deformazione a taglio)

- Calcolando la deformazione dei singoli conci e integrando si ottiene la deformata complessiva

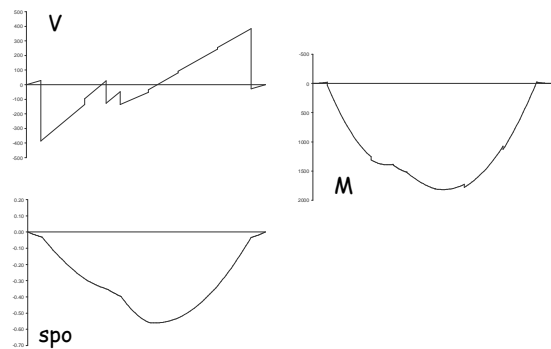


Nota: trascurando  
la deformazione a  
taglio la deformata  
è meno della metà

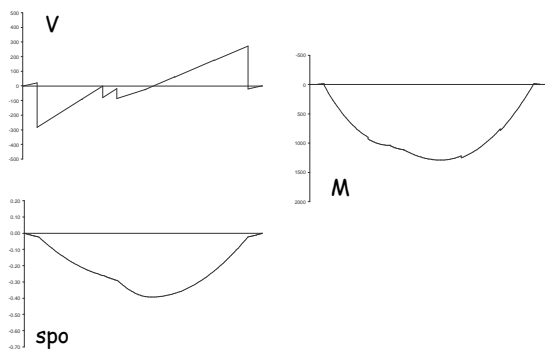
### Confronto: impalcato 5



### 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

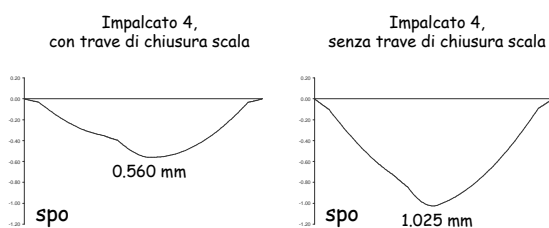
#### SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DEI TRAVERSI

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  $\Delta V$  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