

# Meditazioni strutturali al tempo del Coronavirus

Incontri promossi da Dario Flaccovio editore  
con la collaborazione di Aurelio Ghersi e APICE s.r.l.

05 – Basta un foglio di calcolo per la progettazione  
sismica degli edifici?

14 maggio 2020

Aurelio Ghersi

Questa presentazione è stata preparata da me come stimolo alla riflessione e alla discussione su temi che riguardano la progettazione strutturale di nuove costruzioni e la verifica di costruzioni esistenti in zona sismica.

La responsabilità delle opinioni in essa contenute è esclusivamente mia.

Il pdf della presentazione e la videoregistrazione della esposizione di questi temi da me tenuta sono messe liberamente a disposizione di tutti e possono essere diffuse senza lucro, purché io ne venga citato come autore.

*Aurelio Ghersi*

# Perché questo tema?

- Nel 1993 il prof. Nigel Priestley ha pubblicato l'articolo: "Myths and Fallacies in Earthquake Engineering – Conflicts Between Design and Reality"  
(Miti e false credenze nell'ingegneria sismica – conflitti tra progetto e realtà)
- Nel 2003 ha ripreso il tema, pubblicando "Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, Revisited"

Ritrovo in questi testi spunti interessanti, che corrispondono con le mie esperienze e con mie considerazioni

I temi sono tanti, ma recupero alcuni spunti unendoli ai miei

# Uso di modelli e tipi di analisi

sempre più sofisticati

- Un **mito** è che una modellazione ed analisi più sofisticata possa portare ad un risultato progettuale migliore

Ma (considerazioni di Priestley che condivido pienamente):

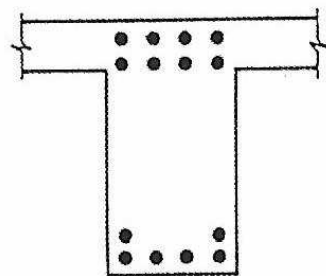
- L'uso di modelli e analisi sempre più complesse, dovuto alla disponibilità di strumenti di calcolo sempre più potenti, rischia di far abbandonare i semplici criteri di buona progettazione e di far sì che sia il calcolo a guidare il progetto
- Nelle strutture in c.a. l'influenza delle approssimazioni relative alla fessurazione (ed alla modellazione dei tratti nodali) è tale da vanificare la precisione del calcolo sia per quanto riguarda il comportamento complessivo (periodo proprio e sua influenza nelle analisi modali) che per la distribuzione delle sollecitazioni tra i singoli elementi (incluso il bilanciamento rotazionale)

# Dettagli costruttivi

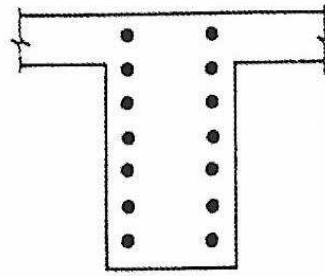
- Altri **miti** riguardano aspetti più specifici di dettaglio

Ad esempio (aspetto stimolante sul quale devo riflettere):

- Siamo sicuri che l'impostazione tradizionale per la disposizione delle barre di armature sia la più idonea per la progettazione antisismica?



(a) Conventional Reinforcement



(b) Vertically Distributed Reinforcement



- analoga resistenza
- minore congestione delle barre
- miglior comportamento del nodo
- miglior controllo della deformazione a taglio

Ma anche (aggiungo io):

- Quanto è corretta l'attuale impostazione progettuale dei nodi?

# Modalità di progettazione e calcolo

- Altri **miti** (o false convinzioni) riguardano le modalità di progettazione e calcolo

Ad esempio (considerazioni di Priestley):

- Vista la fondamentale importanza del comportamento della struttura oltre il limite elastico, ha ancora senso progettare le strutture antisismiche con un approccio basato sulle forze (ridotte mediante il fattore di comportamento  $q$ )?
- Oppure bisognerebbe cambiare radicalmente approccio e puntare su procedimenti che si basano direttamente sul comportamento ultimo (come il Direct Displacement-Based Design)?

O (aggiungo io):

- Si può pensare all'analisi statica non lineare come strumento progettuale?

# Riflessioni personali

bilancio di 45 anni

- Dopo 45 anni dedicati a:
  - Concreta (anche se sporadica) progettazione progettuale antisismica
  - Continuo contatto con i professionisti e con i loro quesiti
  - Insegnamento della progettazione antisismica, con almeno 200 progetti (di studenti) seguiti nel dettaglio
  - Approfondita attività di ricerca scientifica su tante problematiche di ingegneria sismica
- Mi ritrovo sempre più perplesso ...  
... ma convinto che bisogna andare avanti nonostante tutto

# Riflessioni personali

bilancio di 45 anni

- Perplesso:
  - I tanti progressi della ricerca scientifica
  - I programmi di calcolo sempre più sofisticati
  - La normativa che vuole regolamentare tutto nel dettaglio

Tutto questo, ci aiuta a progettare meglio?

... dubbi e incertezze

- Ma bisogna andare avanti:
  - Occorre sfruttare quanto di buona ci indica la ricerca
  - Occorre sfruttare le potenzialità dei programmi di calcolo, ma con intelligenza
  - Occorre accettare gli stimoli della normativa ma non farsi ingabbiare



# Cosa è veramente importante nella progettazione antisismica?

Scelta della tipologia strutturale:

- Struttura tradizionale, a telaio
  - Comodo perché nota
  - Aspetti negativi:  
inevitabile danno e inagibilità per terremoto medio-forte
- Struttura innovativa, a telaio ma isolata alla base
  - I ragionamenti progettuali non sono diversi da quelli di una struttura tradizionale; il costo è lo stesso
  - Aspetti positivi:  
rimane agibile anche dopo un terremoto medio-forte  
il terremoto si sente molto meno

# Cosa è veramente importante nella progettazione antisismica?

Impostazione della carpenteria:

- Uniformità strutturale
  - Scansione regolare delle luci delle campate (e interasse pilastri)  
(se sono proprio indispensabili campate corte, realizzarle a spessore)
  - Altezza uguale per tutti i pilastri di un ordine  
(eccezioni ammesse: ultimo piano a mansarda)
  - Evitare assolutamente travi a livelli diversi dell'impalcato  
Adottare sempre una soluzione asismica per la scala
  - Evitare assolutamente nuclei ascensore in c.a.

Nota: cogliete lo spirito, non la lettera

# Cosa è veramente importante nella progettazione antisismica?

## Impostazione della carpenteria:

- Uniformità strutturale
  - Scansione regolare delle luci delle campate (e interasse pilastri) (se sono proprio indispensabili campate corte, realizzarle a spessore)
  - Altezza uguale per tutti i pilastri di un ordine (eccezioni ammesse: ultimo piano a mansarda)
  - Evitare assolutamente travi a livelli diversi dell'impalcato  
Adottare sempre una soluzione asismica per la scala
  - Evitare assolutamente nuclei ascensore in c.a.
- Uniformità degli elementi non strutturali
  - Evitare tamponature rigide che blocchino una parte del pilastro

# Cosa è veramente importante nella progettazione antisismica?

Impostazione della carpenteria e dimensionamento:

- Uniformità strutturale - dimensioni delle sezioni
  - Sezioni dei pilastri ad un ordine uguali tra loro o non molto diverse (motivando le differenze), con tensione media non alta
  - Sezioni delle travi emergenti mai maggiori di quelle dei pilastri (tendenzialmente 10 o 20 cm di altezza in meno)
  - Ridurre le sezioni dei pilastri (e delle travi emergenti) gradualmente da un piano all'altro
  - Limitare i cambi di sezione di pilastro da un ordine all'altro, perché sono spesso causa di errori realizzativi

**Nota:** Anche qui, cogliete lo spirito. È impensabile che io debba dire che passando da un piano a quello di sopra il pilastro non deve cambiare orientamento, non debba crescere, non debba essere spostato planimetricamente

# Cosa è veramente importante nella progettazione antisismica?

Impostazione della carpenteria e dimensionamento :

- Corretta distribuzione delle rigidità

Ricordate che la rigidità dipende da sezione e orientamento del pilastro, ma anche dalle travi che lo vincolano al piede e in testa

- Usare pilastri di sezione rettangolare, orientandoli in modo da avere una rigidità comparabile nelle due direzioni
- Orientarli in modo da dare anche una buona rigidità rotazionale  
Pilastri che seguono il perimetro, orientati come la tamponatura, danno questa rigidità (e non creano problemi architettonici)
- Per una buona rigidità è opportuno che almeno una parte delle travi siano emergenti

In particolare, è preferibile che le travi perimetrali siano emergenti, per dare rigidità rotazionale

# Cosa è veramente importante nella progettazione antisismica?

In sostanza:

- Organizzare la carpenteria, l'orientamento dei pilastri, la disposizione di travi emergenti e a spessore, in modo da garantire (a occhio, senza calcoli) un buon comportamento della struttura
- Valutate quello che è veramente importante e su questo siate irremovibili
  - Scendete a compromessi con il committente (se non potete farne a meno) solo sulle scelte non essenziali
  - Fate capire al committente che quello che chiedete serve a ridurre i costi della struttura (voi sapete che serve anche ad un miglior comportamento, ma difficilmente potete farlo capire)

# Organizzazione della carpenteria e dimensionamento delle sezioni

- Fidatevi della vostra esperienza  
(se ne avete, e finché rimanete nell'ambito del già fatto)
- Come si acquisisce esperienza?  
Esperienza = capacità di capire e prevedere il comportamento della struttura
  - Per acquisirla occorre ragionare fisicamente e cercare di prevedere qualitativamente e quantitativamente cosa accadrà alla costruzione durante il sisma
  - Anche se avete fatto mille progetti, se non ci avete ragionato sopra non avete acquisito esperienza

# Esperienza

## nell'impostazione della carpenteria

- Uniformità e distribuzione delle rigidezze mirano ad avere:
  - Sollecitazioni comparabili nei diversi elementi strutturali
  - Comportamento planimetricamente bilanciato ed analogo nelle due direzioni
  - Scarsa influenza dell'eccentricità accidentale
- Per acquisire esperienza:
  - Prima del calcolo:  
Cercate di immaginare il comportamento della struttura
  - Dopo il calcolo:  
Vedete come effettivamente si comporta



# Esperienza

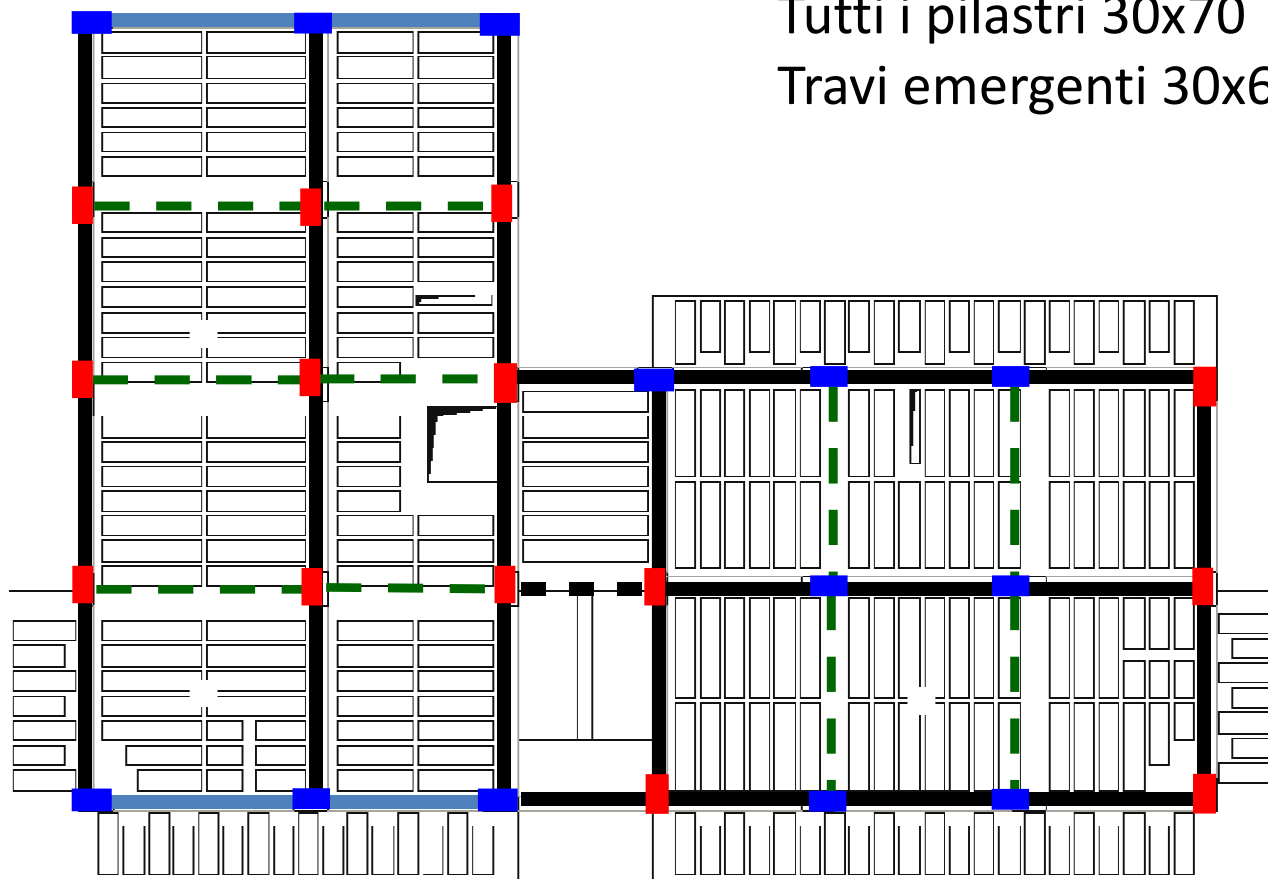
nell'impostazione della carpenteria

- Comportamento della struttura: prima e dopo il calcolo

5 impalcati

Tutti i pilastri 30x70

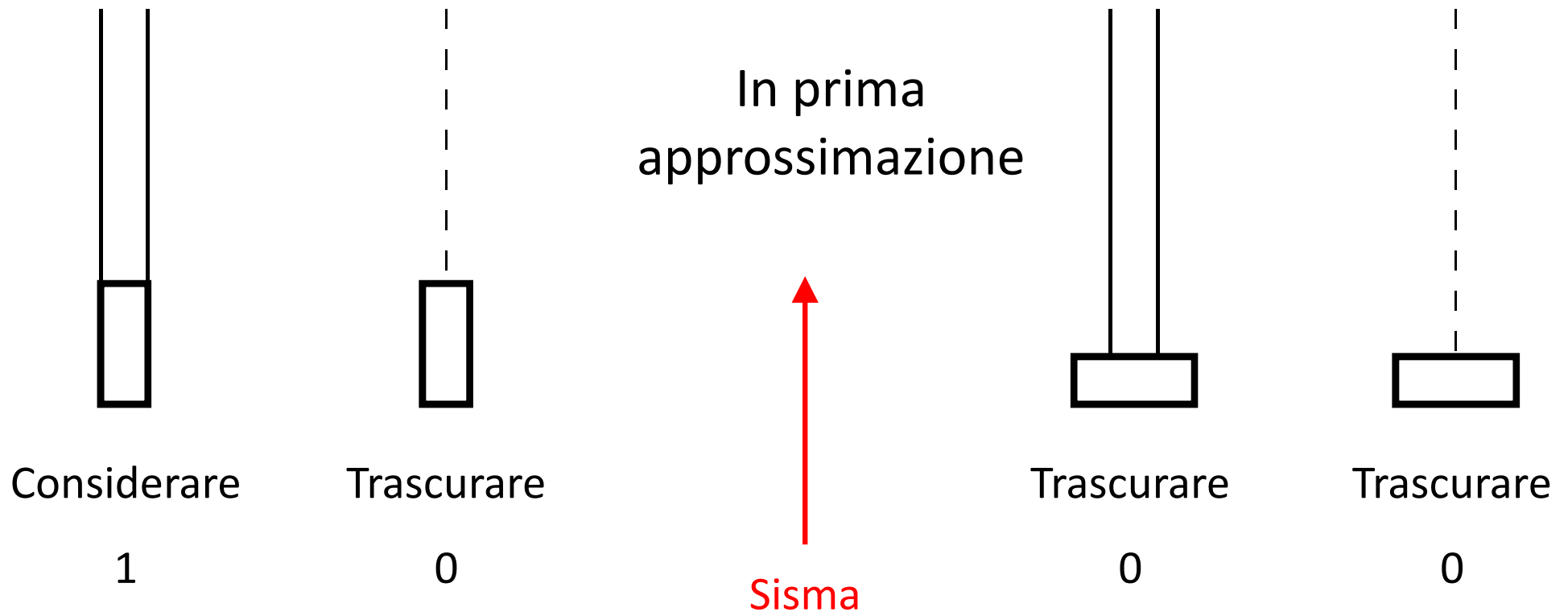
Travi emergenti 30x60 (30x50 5° imp)



# Rigidezza

elementi resistenti alle azioni orizzontali

Avendo travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari (a parità di sezione)

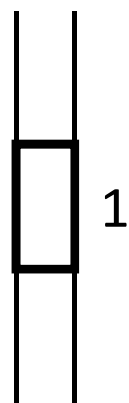




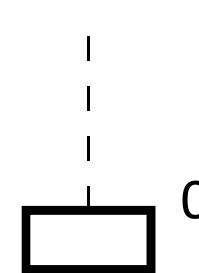
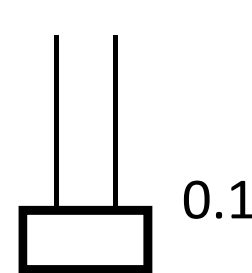
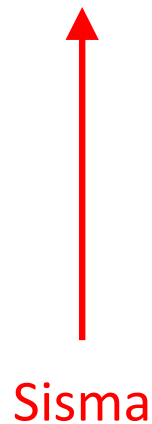
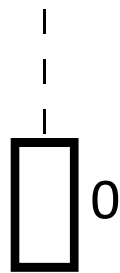
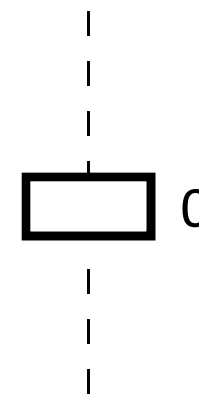
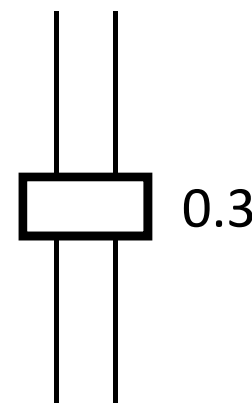
# Rigidezza

elementi resistenti alle azioni orizzontali

Avendo travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari (a parità di sezione)



Oppure  
(se non  
si complica  
troppo)



# Esperienza

nell'impostazione della carpenteria

- Comportamento della struttura: **prima** e dopo il calcolo

tot. 12.9

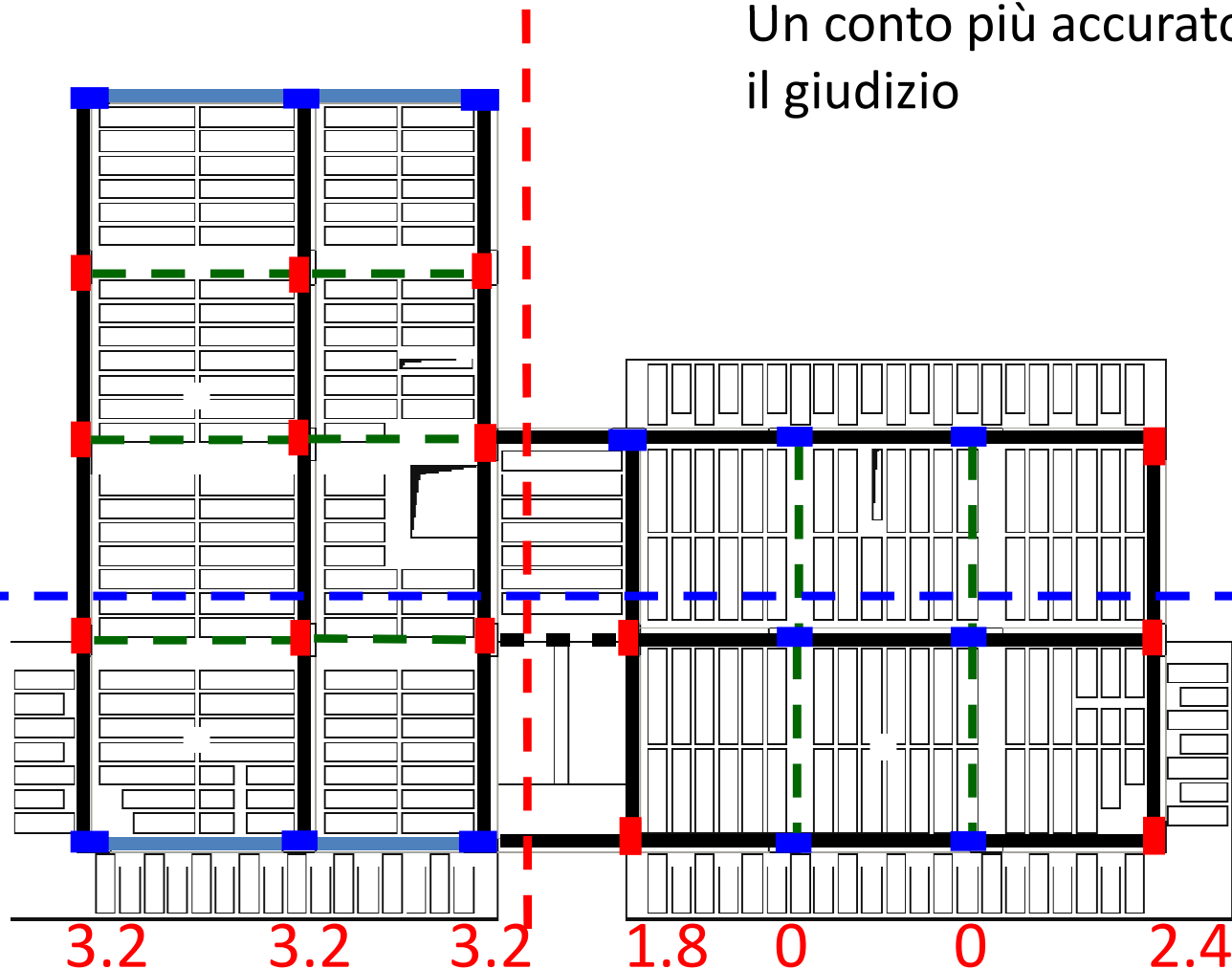
2.4

0

3.2

2.2

5.1



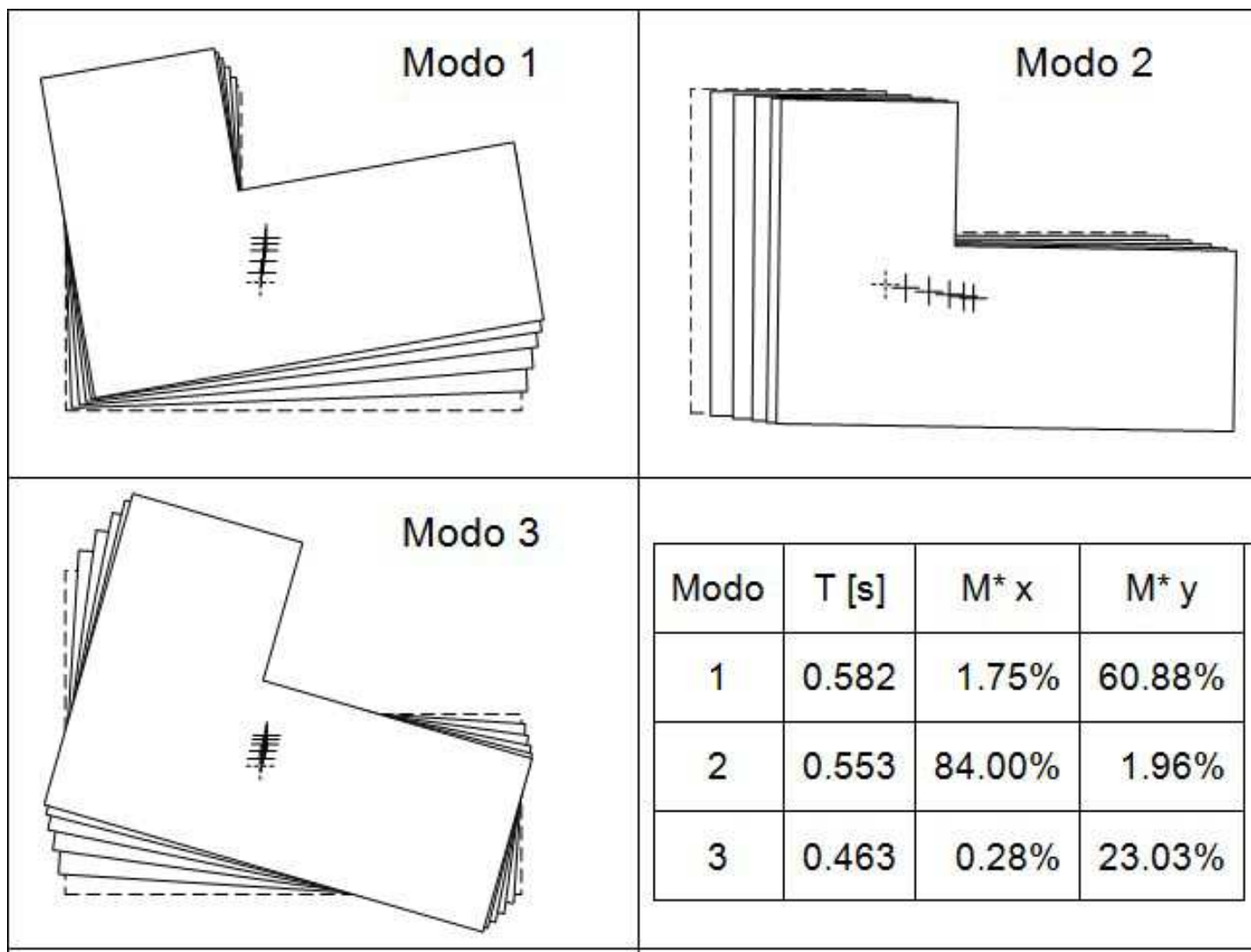
Un conto più accurato non cambia il giudizio

tot. 13.8

# Esperienza

## nell'impostazione della carpenteria

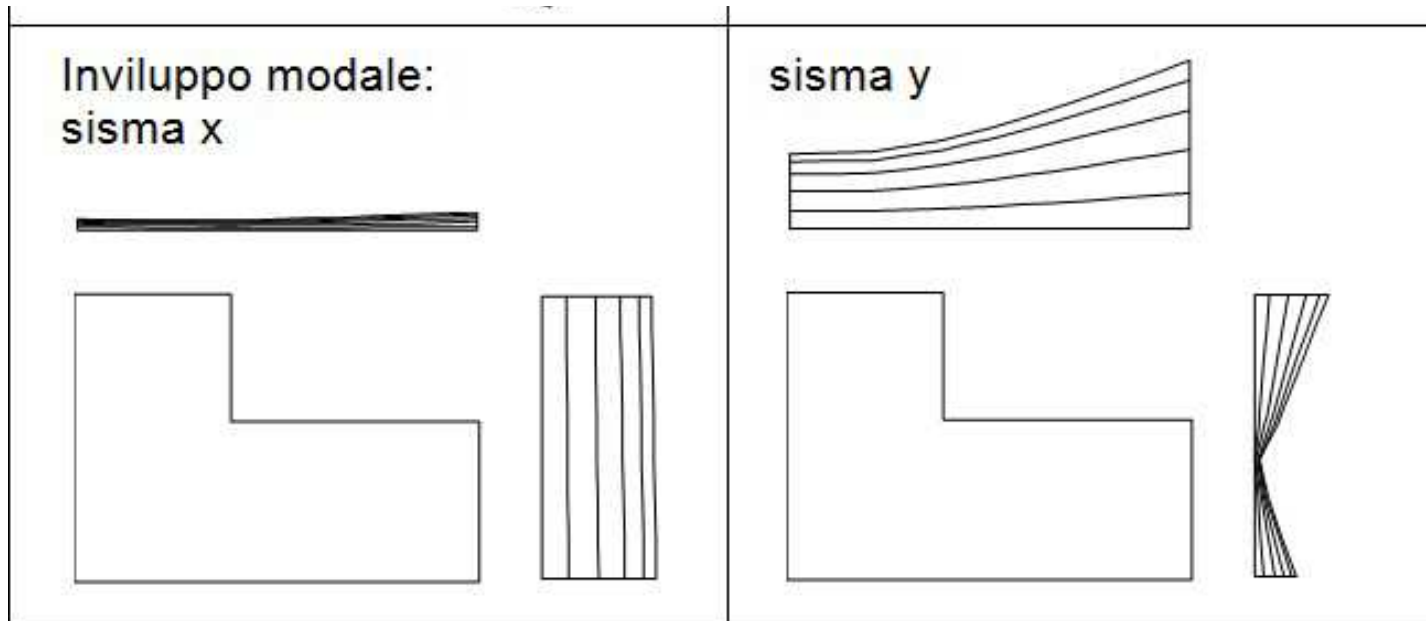
- Comportamento della struttura: prima e **dopo** il calcolo



# Esperienza

nell'impostazione della carpenteria

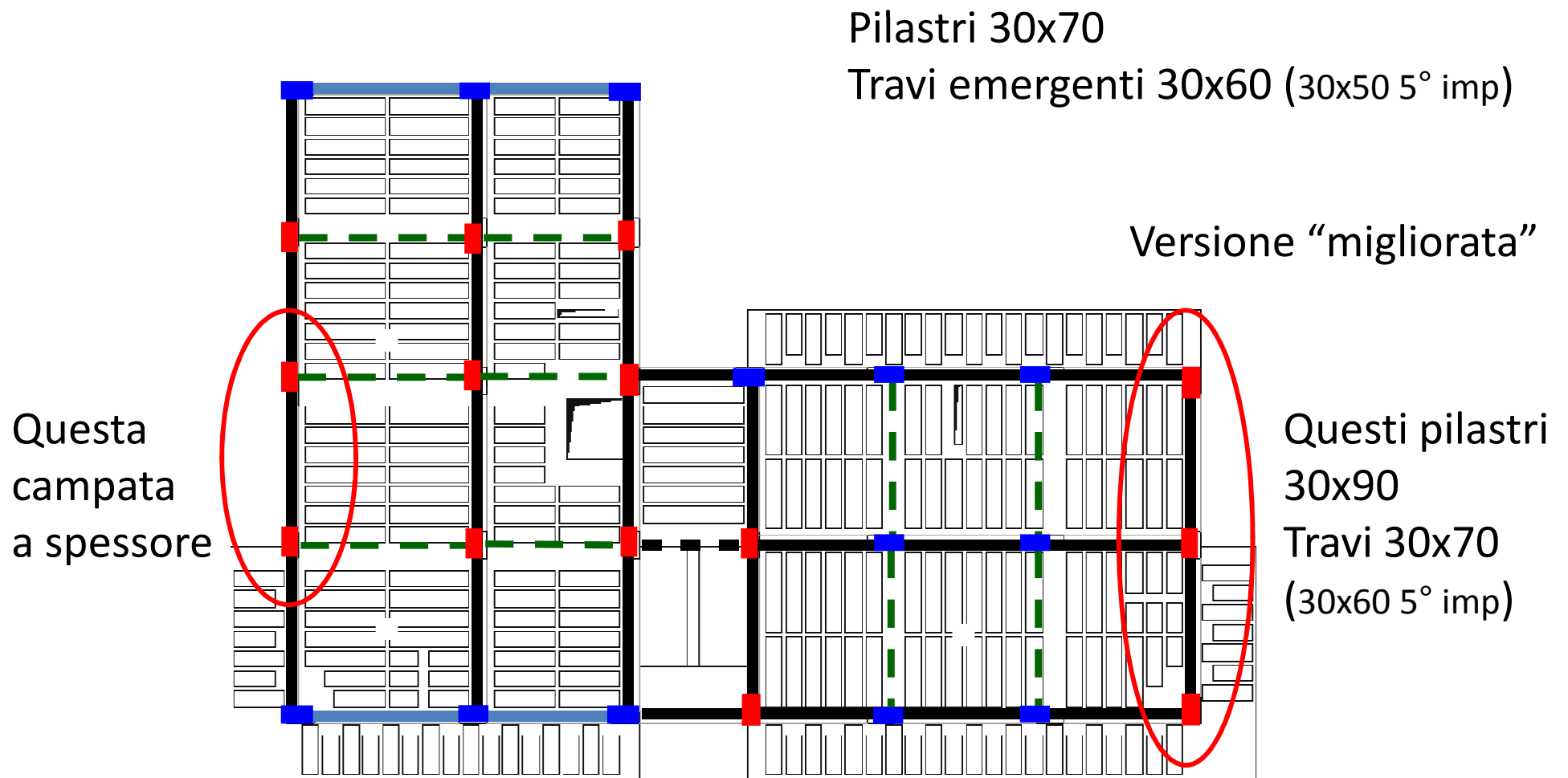
- Comportamento della struttura: prima e **dopo** il calcolo



# Esperienza

nell'impostazione della carpenteria

- Comportamento della struttura: prima e dopo il calcolo

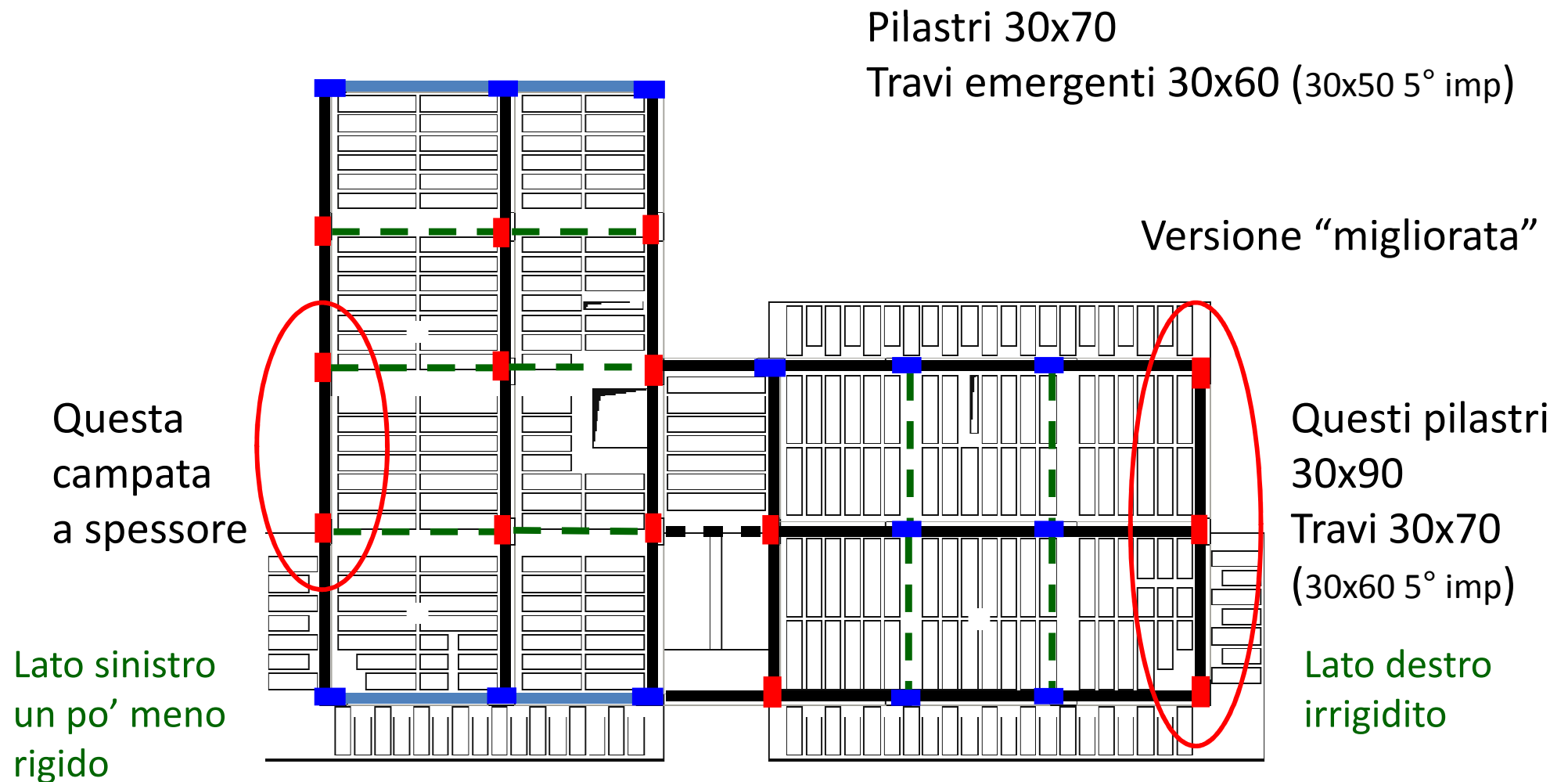




# Esperienza

nell'impostazione della carpenteria

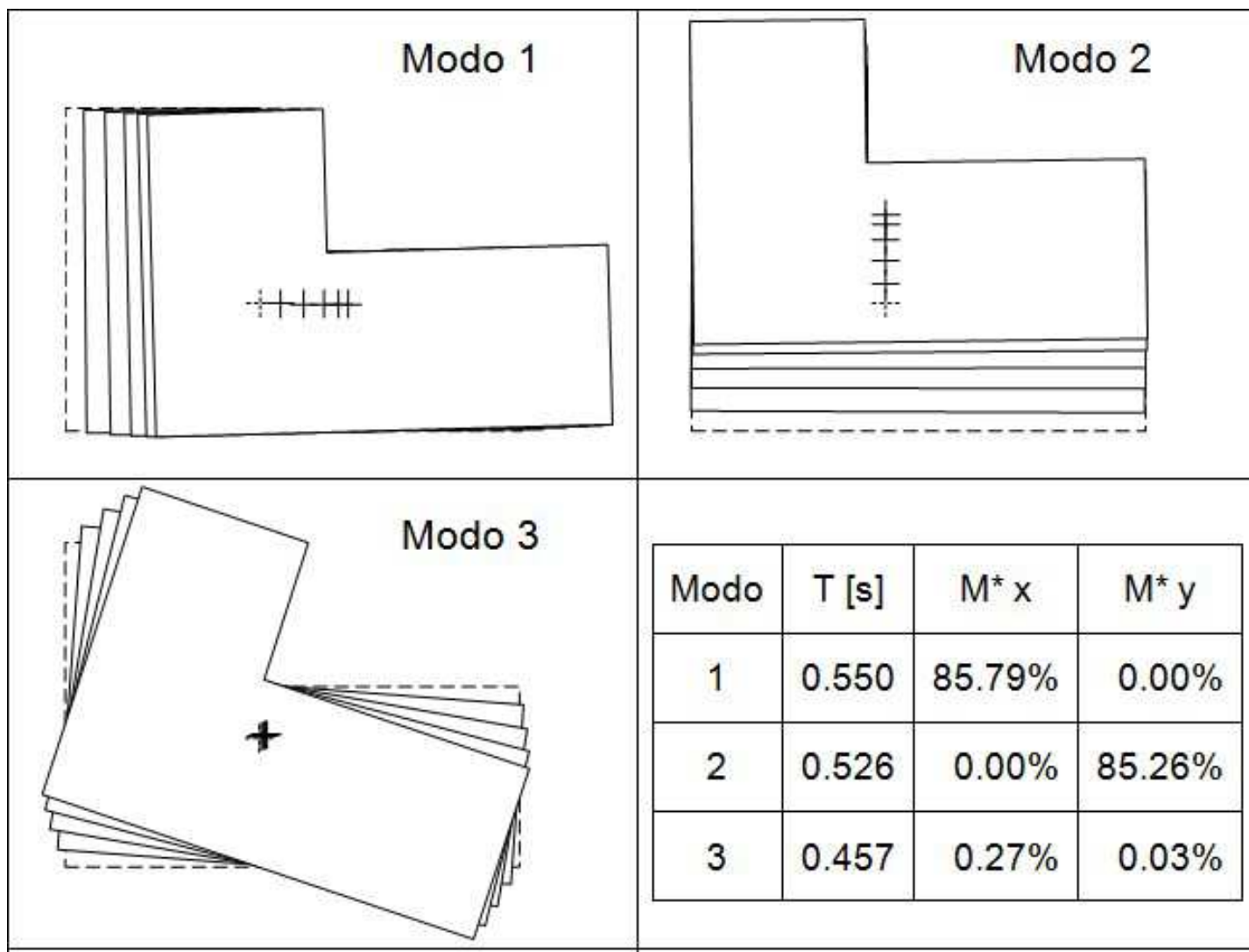
- Comportamento della struttura: **prima** e dopo il calcolo



# Esperienza

nell'impostazione della carpenteria

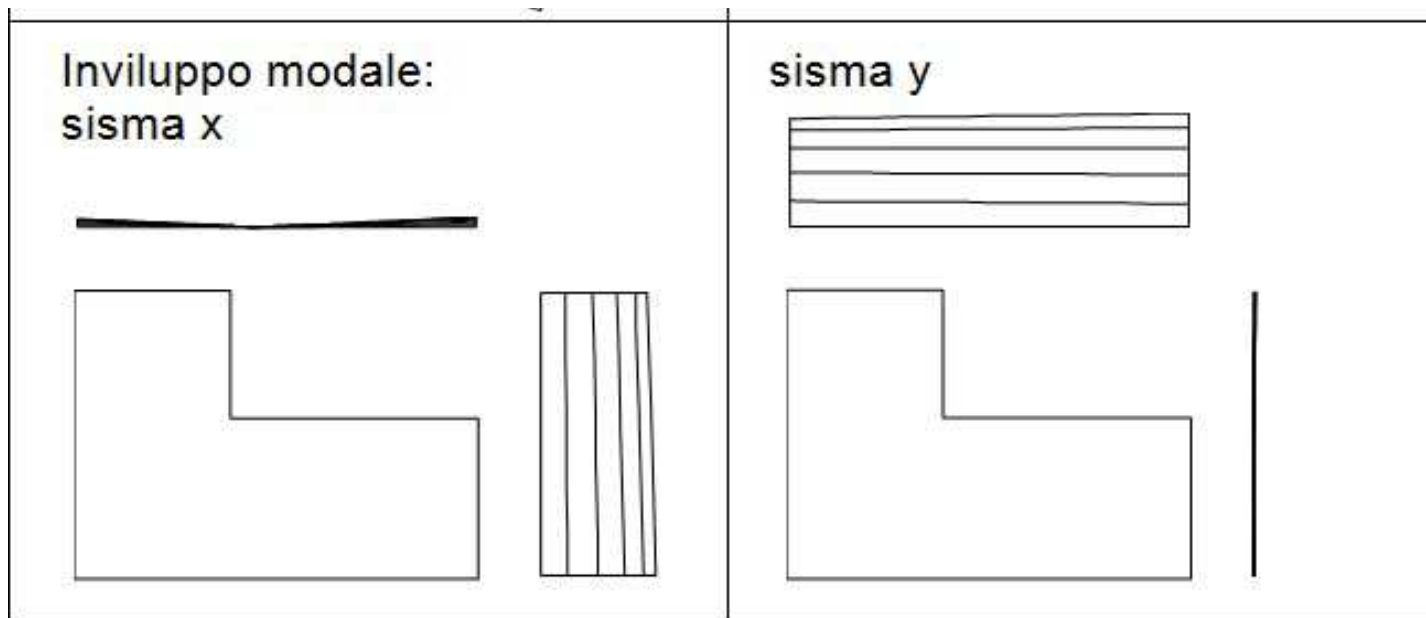
- Comportamento della struttura: prima e **dopo** il calcolo



# Esperienza

nell'impostazione della carpenteria

- Comportamento della struttura: prima e **dopo** il calcolo



# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

- Avere un'idea delle caratteristiche di sollecitazione prodotte dal sisma:
  - È utile per definire correttamente le dimensioni delle sezioni
  - Costituisce parte integrante della “validazione del progetto” prevista dal capitolo 10 delle NTC
  - Consente di acquisire esperienza mediante il confronto con i risultati finali del calcolo
  - Se si ha esperienza, è possibile:
    - Progettare anche le armature direttamente sulla base delle previsioni
    - Dimostrarne la validità con un'analisi statica non lineare

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Preliminarmente:

- Scelta di classe di duttilità e fattore di comportamento  $q$ 
  - Classe di duttilità  
Io preferisco la “A” perché ormai le differenze tra A e B sono minime
  - Fattore  $q$   
Io ora tendo a prendere un valore minore del massimo previsto, anche tenendo conto dello stato limite di danno (suggerimento NTC: progettare allo SLV per  $a_g$  non superiore a quello di SLD diviso 1.5)
  - Regolarità strutturale  
Per me la struttura deve essere sempre regolare in pianta e in altezza (sostanzialmente, non formalmente)

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Preliminarmente:

- Se la struttura è isolata alla base
  - Duttilità  
Anche senza un calcolo specifico, curo comunque i dettagli strutturali (minimi di armatura, ecc.) e la gerarchia delle resistenze
  - Fattore q  
Uso il valore 1.5, indicato dalla norma, che consente di avere danni minimi anche con terremoto forte
  - Regolarità strutturale  
Per me la struttura deve essere sempre regolare in pianta e in altezza (sostanzialmente, non formalmente), anche se la struttura è isolata alla base

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima delle masse
- Stima iniziale del periodo (e dell'accelerazione sismica)
- Valutazione delle forze (con riferimento a analisi statica)
- Ripartizione del taglio tra i pilastri
- Stima del momento flettente nei pilastri
- Stima del momento flettente nelle travi
- Stime dell'effetto di eccentricità accidentale, combinazione del sisma nelle due direzioni, gerarchia resistenze pilastro-trave

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima delle masse
  - È opportuno avere una stima appropriata delle masse, ma non serve una pignoleria estrema
  - In linea di massima, il peso a metro quadro (complessivo) delle masse in un edificio non varia particolarmente, può essere compreso tra 8 e 11 kN/m<sup>2</sup>



# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima iniziale del periodo
  - Le NTC del 2008 suggerivano  $T_1 = C_1 H^{3/4}$ , con  $C_1 = 0.075$  per struttura intelaiata in c.a.  
H = altezza dell'edificio (dall'estradosso fondazioni)
  - Questo valore è in genere adeguato, ma può essere corretto in base all'esperienza (o con semplici formule, dopo aver definito le sezioni di pilastri e travi)
  - Per strutture isolate alla base:  
triplicate il valore ottenuto dalla formula, con H misurato dall'estradosso degli isolatori
- In base al periodo e al valore di q avete l'accelerazione
  - Per edificio isolato alla base lo smorzamento è più alto

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

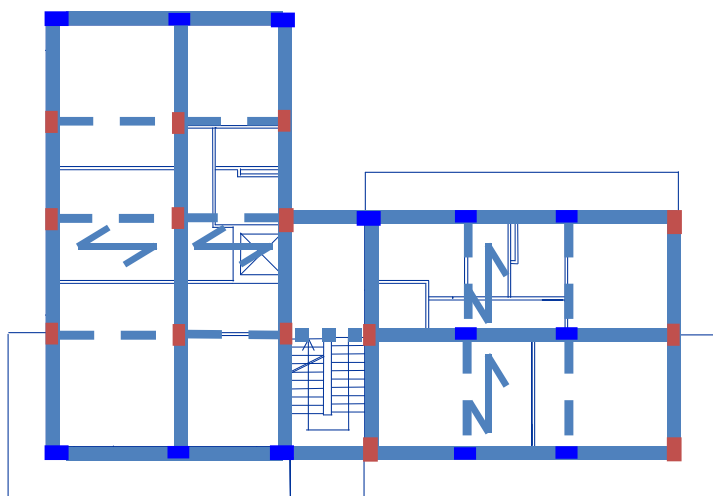
- Valutazione delle forze (con riferimento a analisi statica)
  - Note le masse e l'accelerazione sismica, calcolare le forze sismiche
    - Con andamento linearmente crescente, con le formule di normativa, se l'edificio è a base fissa
    - Con andamento costante (massa per accelerazione) se l'edificio è isolato alla base
  - Dalle forze si ha il taglio di piano

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Ripartizione del taglio tra i pilastri
  - Ciascun pilastro porta una aliquota del taglio di piano, in proporzione alla sua rigidezza
  - Potete usare i numeri indicati in precedenza



I pilastri (uguali tra loro) sono:

13 allungati in direzione x

14 allungati in direzione y

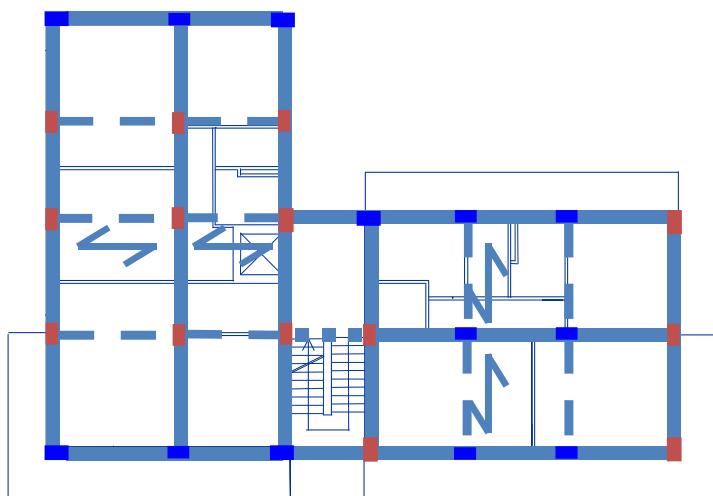
Ripartisco il taglio globale  
tra 13 pilastri (direzione x)

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Ripartizione del taglio tra i pilastri
  - Ciascun pilastro porta una aliquota del taglio di piano, in proporzione alla sua rigidezza
  - Potete usare i numeri indicati in precedenza



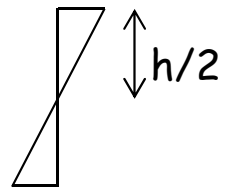
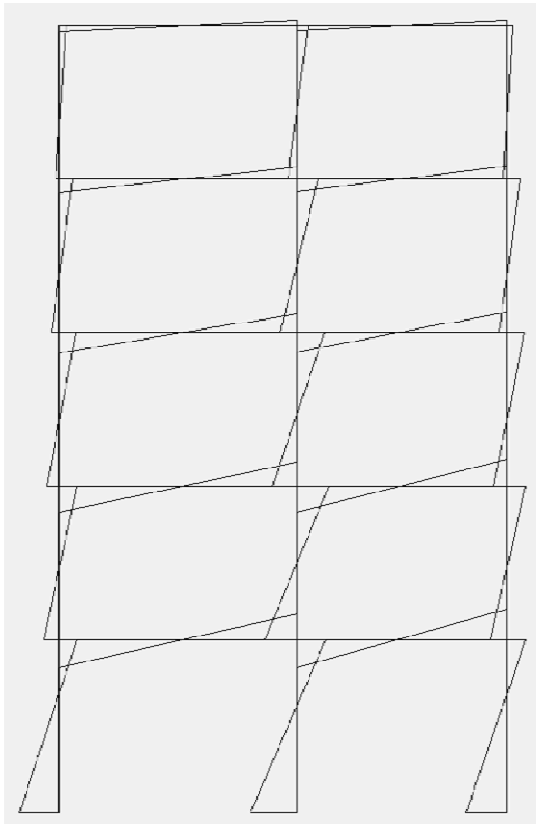
Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)
5	549.6	42.3
4	968.2	74.5
3	1285.3	98.9
2	1500.9	115.5
1	1593.8	122.6

# Esperienza

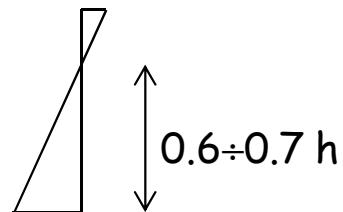
previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima del momento flettente nei pilastri
  - Tipico diagramma del momento flettente nel telaio



ai piani superiori



al primo ordine

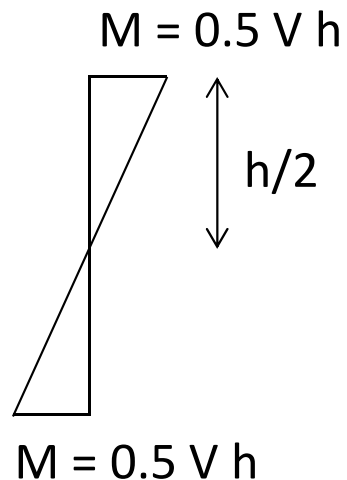
# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

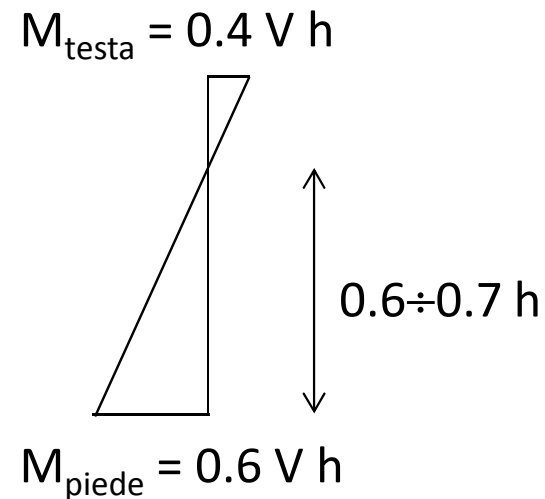
Stima numerica:

- Stima del momento flettente nei pilastri
  - Momento flettente = taglio per distanza da punto di nullo

ai piani superiori



al primo ordine



oppure  $0.3 V h$  e  $0.7 V h$ ,  
in base alla differenza di rigidità  
tra pilastro e trave

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima del momento flettente nei pilastri
  - Momento flettente = taglio per distanza da punto di nullo

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)
5	549.6	42.3	67.6
4	968.2	74.5	119.2
3	1285.3	98.9	158.2
2	1500.9	115.5	184.7
1 testa	1593.8	122.6	176.5
piede			264.8

$M = V h / 2$

$M = V 0.4 h$

$M = V 0.6 h$

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima del momento flettente nei pilastri
  - Momento flettente = taglio per distanza da punto di nullo
  - Può essere utile ricordare che i pilastri con una sola trave emergente sono meno rigidi (60-80%) e quindi avranno momenti flettenti minori
  - Per questi pilastri diventa però rilevante anche la variazione di sforzo normale indotto dal taglio della trave (per pilastri con due travi emergenti i tagli delle due travi si bilanciano)

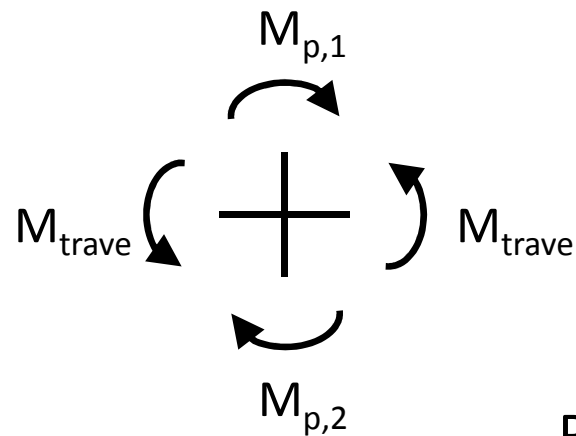
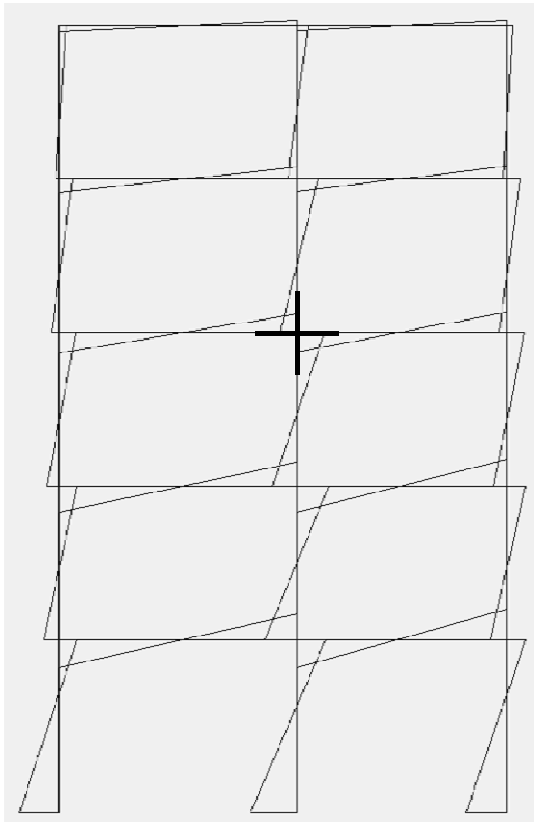


# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima del momento flettente nelle travi
  - Valutare il momento nelle travi, dall'equilibrio dei nodi  
(nei nodi interni)



Per l'equilibrio:

$$M_{trave} = \frac{M_{p,1} + M_{p,2}}{2}$$

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima del momento flettente nelle travi
  - Valutare il momento nelle travi, dall'equilibrio dei nodi

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)
5	549.6	42.3	67.6	33.8
4	968.2	74.5	119.2	93.4
3	1285.3	98.9	158.2	138.7
2	1500.9	115.5	184.7	171.5
1 testa	1593.8	122.6	176.5	180.6
piede			264.8	

$$M_t = \frac{M_{p,5}}{2}$$

$$M_t = \frac{M_{p,5} + M_{p,4}}{2}$$

$$M_t = \frac{M_{p,2} + M_{p,1}}{2}$$

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima del momento flettente nelle travi
  - Dal momento flettente al taglio, e quindi il  $\Delta N$  nei pilastri di estremità

$$V_{t,5} = \frac{2 M_{t,5}}{L}$$

$$\Delta N = V_{t,5}$$

$$L_{trave} = 4.10 \text{ m}$$

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)	$\Delta N$ pilastro (kN)
5	549.6	42.3	67.6	33.8	16.5
4	968.2	74.5	119.2	93.4	62.0
3	1285.3	98.9	158.2	138.7	129.7
2	1500.9	115.5	184.7	171.5	213.4
1 testa	1593.8	122.6	176.5	180.6	301.5
piede			264.8		

$$\Delta N = V_{t,5} + V_{t,4}$$

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stima del momento flettente nelle travi
  - Dal momento flettente al taglio, e quindi il  $\Delta N$  nei pilastri di estremità

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)	$\Delta N$ pilastro (kN)
5	549.6	42.3	67.6	33.8	16.5
4	968.2	74.5	119.2	93.4	62.0
3	1285.3	98.9	158.2	138.7	129.7
2	1500.9	115.5	184.7	171.5	213.4
1 testa	1593.8	122.6	176.5	180.6	301.5
piede			264.8		

Questi valori dovrebbero corrispondere a quelli forniti dal calcolo (analisi statica)

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stime dell'effetto di eccentricità accidentale, combinazione del sisma nelle due direzioni, gerarchia resistenze pilastro-trave
  - I primi due aspetti sono legati alla rotazione dell'edificio e quindi funzione della distanza tra telaio e baricentro delle rigidzze
  - Possono essere tenuti in conto con un aumento fino al 20%

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)	$\Delta N$ pilastro (kN)
5	549.6	50.7	73.1	36.5	19.8
4	968.2	89.4	128.7	100.9	74.5
3	1285.3	118.6	170.8	149.8	155.6
2	1500.9	138.5	199.5	185.2	256.0
1 testa	1593.8	147.1	190.7	195.0	361.8
piede			317.7		

Questi sono i valori incrementati del 20% (cioè del massimo)

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Stime dell'effetto di eccentricità accidentale, combinazione del sisma nelle due direzioni, gerarchia resistenze pilastro-trave
  - Il terzo aspetto serve solo per un controllo del dimensionamento iniziale (sarà poi considerato dopo aver armato le travi)
  - Può essere tenuto in conto con un aumento del 50%

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)	$\Delta N$ pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)
5	549.6	50.7	73.1	36.5	19.8	109.6
4	968.2	89.4	128.7	100.9	74.5	193.0
3	1285.3	118.6	170.8	149.8	155.6	256.3
2	1500.9	138.5	199.5	185.2	256.0	299.2
1 testa	1593.8	147.1	190.7	195.0	361.8	286.0
piede			317.7			317.7

Per ricordare che i pilastri non possono essere subito ridotti

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Valori complessivamente ottenuti

Piano	Taglio globale (kN)	Taglio pilastro (kN)	Momento pilastro (kNm)	Momento trave (kNm)	$\Delta N$ pilastro (kN)
5	549.6	50.7	109.6	36.5	19.8
4	968.2	89.4	193.0	100.9	74.5
3	1285.3	118.6	256.3	149.8	155.6
2	1500.9	138.5	299.2	185.2	256.0
1 testa	1593.8	147.1	286.0	195.0	361.8
piede			317.7		

Questi valori dovrebbero corrispondere ai massimi forniti dall'involuppo di tutte le combinazioni di carico sismiche

# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

Stima numerica:

- Valori complessivamente ottenuti

Piano	Ta globa				$\Delta N$ pilastro (kN)
5	5				19.8
4	9				74.5
3	12				155.6
2	15				256.0
1 testa	15				361.8
piede				317.7	

Ai fini del dimensionamento e della scelta delle armature si deve far riferimento ai valori a filo (trave o pilastro), tranne che all'incastro alla base

Si possono usare i valori calcolati, riducendoli di un 15-20%

Questi valori dovrebbero corrispondere ai massimi forniti dall'involuppo di tutte le combinazioni di carico sismiche



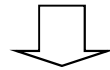
# Esperienza

previsione delle caratteristiche di sollecitazione

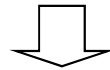
- Avere un'idea delle caratteristiche di sollecitazione prodotte dal sisma:
    - È utile per definire correttamente le dimensioni delle sezioni
    - Costituisce parte integrante della “validazione del progetto” prevista dal capitolo 10 delle NTC
    - Consente di acquisire esperienza mediante il confronto con i risultati finali del calcolo
- Già detto
- Ma quanto è importante conoscere con precisione le caratteristiche di sollecitazione, determinate con l'analisi standard di normativa (analisi modale con spettro di progetto ottenuto riducendo le accelerazioni di  $q$ )?

# Processo progettuale tradizionale

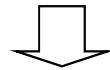
Modellazione della struttura



Risoluzione degli schemi base



Inviluppo dei risultati



Progetto  
antisismico

~~Definizione delle armature  
in base all'inviluppo~~

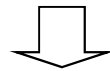
No: occorre tener conto della  
gerarchia delle resistenze  
ovvero: progettazione in capacità

# Gerarchia delle resistenze

(progettazione in capacità)

Il raggiungimento del momento resistente, e quindi la plasticizzazione a flessione, deve avvenire solo:

- Alle estremità delle travi
- Al piede dei pilastri del primo ordine



Queste parti della struttura devono essere in grado di sopportare deformazioni plastiche elevate

Il limite di resistenza verrà raggiunto per accelerazioni sismiche molto minori di quelle previste nel sito (solo il 25-35%)

La maggior parte dell'azione sismica sarà sopportata grazie alla capacità deformativa plastica (duttilità)

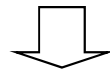
# Gerarchia delle resistenze

(progettazione in capacità)

Il raggiungimento del momento resistente, e quindi la plasticizzazione a flessione, deve avvenire solo:

- Alle estremità delle travi
- Al piede dei pilastri del primo ordine

La maggior parte dell'azione sismica sarà sopportata grazie alla capacità deformativa plastica (duttilità)



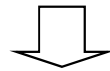
Un rispetto rigoroso dei momenti flettenti di calcolo è irrilevante ai fini del comportamento sismico

Possiamo tranquillamente utilizzare valori approssimati, forniti da una stima semplice, purché affidabile

# Gerarchia delle resistenze

(progettazione in capacità)

Il raggiungimento del momento resistente deve avvenire solo nelle sezioni prima indicate



- Tutto il resto
    - Armatura a flessione dei pilastri
    - Armatura a taglio delle travi
    - Armatura a taglio dei pilastri
    - Armatura dei nodi
- è definito a partire dalle armature precedentemente indicate, con calcoli molto semplici

# Consigli progettuali

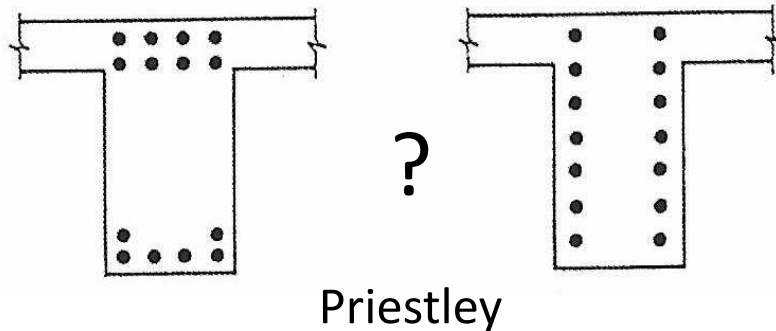
armatura a flessione - travi (e base pilastri 1° ordine)

- Mettete solo il minimo indispensabile
- Preoccupatevi più della uniforme distribuzione delle armature che del rispetto dei valori di calcolo o stimati
  - Nota: uniforme nel senso di coerente con l'importanza (e la rigidità) dell'elemento
  - Guardate la struttura nel suo complesso e mettete armature analoghe in sezioni che vi sembra debbano comportarsi in maniera analoga (indipendentemente dal calcolo)

# Consigli progettuali

armatura a flessione - travi (e base pilastri 1° ordine)

- Mettete solo il minimo indispensabile
- Preoccupatevi della uniforme distribuzione delle armature
- Evitate eccessivi affollamenti di armatura



Distanziate bene (8 cm?) le barre.  
Quelle che non entrano nella  
larghezza mettetele come secondo  
o terzo strato, ben distanti

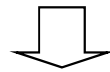
- Disponete sempre buone armature di parete
  - Nella zona dissipativa, una barra ogni 15-20 cm di altezza
- Evitate ancoraggio o sovrapposizione di barre nelle zone dissipative

# Consigli progettuali

## armatura a flessione - altri pilastri

- Armareli nel rispetto della gerarchia delle resistenze

$$\sum M_{c,Rd} \geq \gamma_{Rd} \sum M_{b,Rd}$$



- Il modo più semplice per garantirlo, per tutti i pilastri “principali”, cioè di coltello:
  - Guardate l’armatura delle travi che convergono nel nodo (in una direzione)
  - Disponete nel pilastro un’armatura pari a quella delle travi emergenti (media tra armatura superiore e inferiore); potete metterne un po’ meno nei pilastri con una sola trave emergente



# Consigli progettuali

## armatura a flessione - altri pilastri

- Armature nel rispetto della gerarchia delle resistenze
- Non preoccupatevi della gerarchia delle resistenze per i pilastri di piatto
  - Mettete una armatura distribuita, fuori calcolo (vedi dopo)
- Dettagli costruttivi:
  - Mettete barre più grosse nello spigolo
  - Evitate eccessivi affollamenti di armatura:
    - Distanziate bene (8 cm?) le barre.
    - Quelle che non entrano nella larghezza mettetele come secondo o terzo strato, ben distanti
  - Mettete almeno una barra ogni 15 cm sul lato lungo della sezione
  - Usate sempre doppie staffe e tirantini (spille) per bloccare almeno una barra su due e non lasciate mai barre libere più distanti di 15 cm

# Consigli progettuali

## armatura a taglio - travi e pilastri

- Fate un calcolo in base ai momenti resistenti, ma in genere i minimi di normativa per CD “A” sono adeguati
- Le staffe più che per il taglio servono a garantire una buona duttilità nelle zone dissipative:
  - Devono cerchiare bene il calcestruzzo
  - Devono evitare l’instabilità delle barre compresse
  - Quindi l’interasse tra i bracci (di staffe e tirantini) deve essere contenuto in entrambe le direzioni (non solo in senso longitudinale)

# Consigli progettuali nodi

- La normativa fornisce formule che mirano ad evitare che il nodo si fessuri  
A me sembra una preoccupazione eccessiva
- È invece sicuramente importante che nel nodo si formi un puntone compresso senza che il calcestruzzo si schiacci
  - Per questo bisogna limitare la tensione media del pilastro

## Armature

- Le armature di parete delle travi fungono da contenimento del nodo e quindi contano come armature del nodo
  - Per questo suggerisco di metterle a distanza non superiore a 15-20 cm (e di diametro pari a quello delle altre barre longitudinali)
  - A queste è bene aggiungere qualche (doppia) staffa, ma senza eccessivo infittimento

# Conclusioni

- Ovviamente i miei sono spunti di riflessione che ciascuno dovrà interiorizzare, assumendosene la responsabilità
- Vi invito a coglierne soprattutto lo spirito, non la lettera (e, ripensandoci, sicuramente avrò omesso qualche consiglio che ha uguale importanza a quelli forniti ... ma non si può mai pensare a tutto e prevedere tutto)