

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoletto
5-6 giugno 2015

06 - Modellazione. Esame dei risultati

Modellazione di struttura e sistema di isolamento

Modellazione

dei sistemi isolati alla base

- Modellazione della sovrastruttura:
Deve essere schematizzata come sistema a comportamento elastico lineare
- Modellazione del sistema di isolamento:
Può essere modellato come elemento lineare oppure con legame costitutivo non lineare
In sostanza, è equivalente ad una molla orizzontale (se lineare, con rigidezza definita in funzione dello spostamento massimo)
Nota: La deformabilità verticale deve essere messa in conto solo se il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidezza equivalente orizzontale $K_{e_{si}}$ è inferiore a 800

Modellazione

dei sistemi isolati alla base

- Il comportamento del sistema di isolamento può essere modellato come lineare equivalente se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni:
 - a) la rigidezza equivalente del sistema d'isolamento è almeno pari al 50% della rigidezza secante per cicli con spostamento pari al 20% dello spostamento di riferimento;
 - b) lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento è inferiore al 30%;
 - c) le caratteristiche forza-spostamento del sistema d'isolamento non variano di più del 10% per effetto di variazioni della velocità di deformazione, in un campo del $\pm 30\%$ intorno al valore di progetto, e dell'azione verticale sui dispositivi, nel campo di variabilità di progetto;
 - d) l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamento tra $0.5d_{dc}$ e d_{dc} , essendo d_{dc} lo spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2.5% del peso totale della sovrastruttura.

Modellazione

dei sistemi isolati alla base

- Le proprietà meccaniche del sistema di isolamento da adottare nelle analisi sono le più sfavorevoli che si possono verificare durante la sua vita utile. Esse devono tener conto, ove pertinente, di:
 - entità delle deformazioni subite, in relazione allo stato limite per la verifica del quale si svolge l'analisi;
 - variabilità delle caratteristiche meccaniche dei dispositivi, nell'ambito della fornitura;
 - velocità massima di deformazione (frequenza), in un intervallo di variabilità di $\pm 30\%$ del valore di progetto;
 - entità dei carichi verticali agenti simultaneamente al sisma;
 - entità dei carichi e delle deformazioni in direzione trasversale a quella considerata;
 - temperatura, per i valori massimo e minimo di progetto;
 - cambiamento delle caratteristiche nel tempo (invecchiamento).

Analisi strutturale

Possono essere eseguite le seguenti analisi strutturali:

- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica lineare (modale con spettro di risposta)
- Analisi dinamica non-lineare

Analisi statica lineare

- Può essere applicata se la struttura isolata soddisfa i requisiti:
 - il sistema d'isolamento può essere modellato come lineare
 - il periodo equivalente T_{is} della costruzione isolata ha un valore compreso fra $3T_{bf}$ e 3.0 s, in cui T_{bf} è il periodo della sovrastruttura assunta a base fissa, stimato con un'espressione approssimata

continua ...

Analisi statica lineare

- Può essere applicata se la struttura isolata soddisfa i requisiti:
 - la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v è almeno 800 volte più grande della rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento K_{esi}
 - il periodo in direzione verticale T_v , calcolato come $T_v = 2\pi M / K_v$, è inferiore a 0.1 s
 - nessun isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali
 - il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale regolare in pianta

Analisi statica lineare

- Può essere applicata se la struttura isolata soddisfa i requisiti (specifici per le costruzioni civili e industriali):
 - la sovrastruttura ha altezza non maggiore di 20 metri e non più di 5 piani.
 - la sottostruttura può essere considerata infinitamente rigida ovvero il suo periodo proprio è non maggiore di 0.05s.
 - la dimensione maggiore in pianta della sovrastruttura è inferiore a 50 m;
 - in ciascuna delle direzioni principali orizzontali l'eccentricità totale (esclusa quella accidentale) tra il centro di rigidezza del sistema di isolamento e la proiezione verticale del centro di massa non è superiore al 3% della dimensione della sovrastruttura trasversale alla direzione orizzontale considerata.

Analisi statica lineare

Il calcolo può essere svolto su due modelli separati, per ciascuno dei quali si assume un valore diverso dello smorzamento:

- Sovrastruttura più sistema d'isolamento
- Sottostruttura
(Su questa agiscono le forze ricavate dal primo modello e le forze d'inerzia prodotte direttamente dal moto del terreno)

Analisi statica lineare

- Con riferimento al comportamento traslazionale, si assume che la sovrastruttura sia un solido rigido che trasla al di sopra del sistema di isolamento, con un periodo equivalente di traslazione

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Analisi dinamica lineare

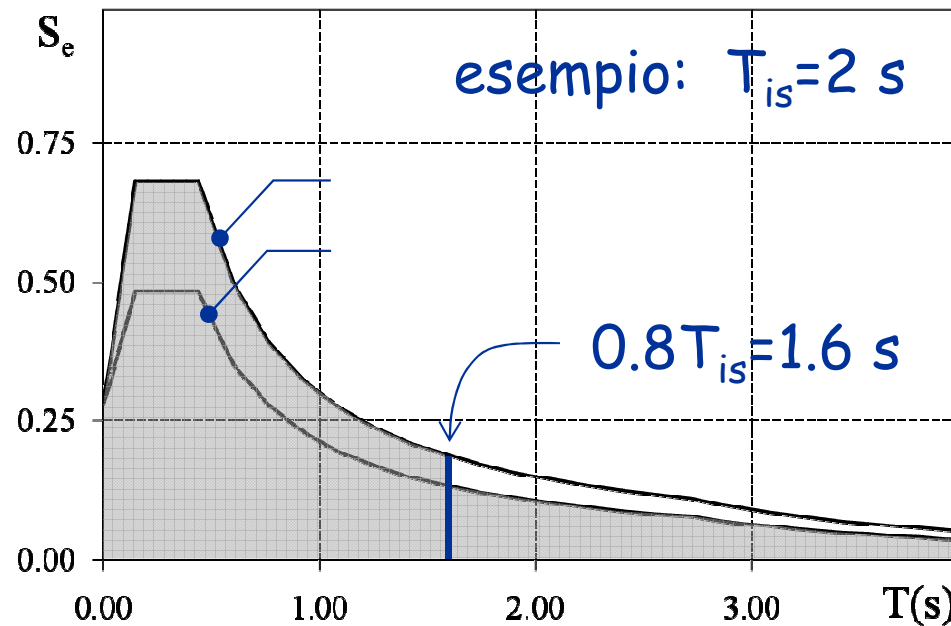
- L'analisi dinamica lineare è ammessa quando risulta possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema di isolamento
- L'analisi può essere svolta mediante
 - analisi modale con spettro di risposta, considerando un numero di modi tale da portare in conto anche un'aliquota significativa della massa della sottostruttura, se inclusa nel modello.
 - integrazione al passo delle equazioni del moto, eventualmente previo disaccoppiamento modale

Analisi dinamica lineare

- Le componenti orizzontali dell'azione sismica si considerano in generale agenti simultaneamente
- La componente verticale dell'azione sismica deve essere messa in conto nei casi previsti già per gli edifici a base fissa
e, in ogni caso, quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidezza equivalente orizzontale K_{esi} risulti inferiore a 800. In tali casi si avrà cura che la massa eccitata dai modi in direzione verticale considerati nell'analisi sia significativa
- Le regole di combinazione degli effetti sono le stesse riportate per gli edifici a base fissa

Analisi dinamica lineare

- Lo spettro elastico va ridotto per tutto il campo di periodi $T \geq 0.8T_{is}$, assumendo per il coefficiente riduttivo η il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del sistema di isolamento



Discussione dei risultati: analisi modale

Un mare di numeri. Come non perdersi?

Analisi modale

- Esaminare le deformate modali (indipendentemente dalla direzione del sisma)
 - sono disaccoppiate oppure accoppiate?
- Esaminare le masse partecipanti (per ciascuna direzione del sisma) per vedere quali modi danno maggior contributo
 - prevale un solo modo, o più di uno?
- Esaminare i periodi dei modi predominanti
 - corrispondono alle previsioni o no?

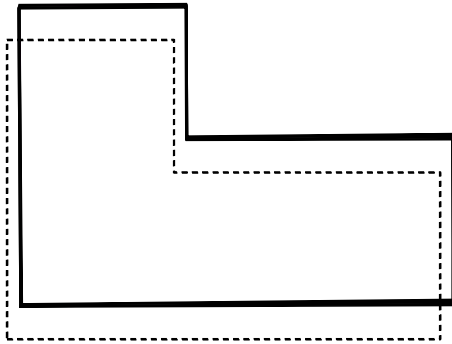
Un mare di numeri. Come non perdersi?

Analisi modale

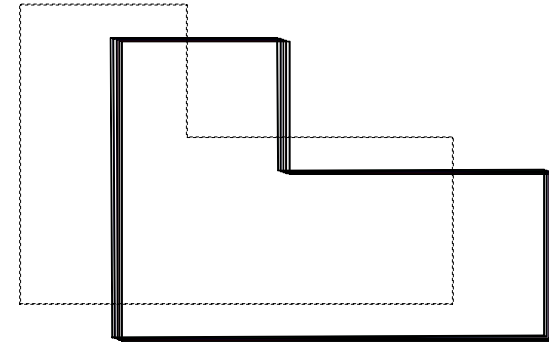
- Esaminare l'inviluppo delle deformate modali, per le due direzioni del sisma
 - spostamenti analoghi nelle due direzioni o molto diversi?
 - solo traslazione, rotazione dell'impalcato modesta oppure forte?
- Esaminare i momenti massimi nei pilastri e nelle travi
 - rispettano le previsioni o no?

Deformate modali

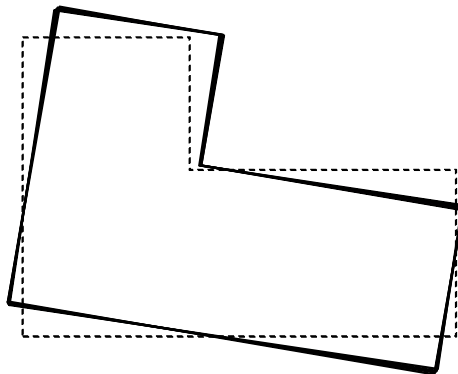
Modo 1 $T = 2.022 \text{ s}$



Modo 2 $T = 2.021 \text{ s}$



Modo 3 $T = 1.669 \text{ s}$

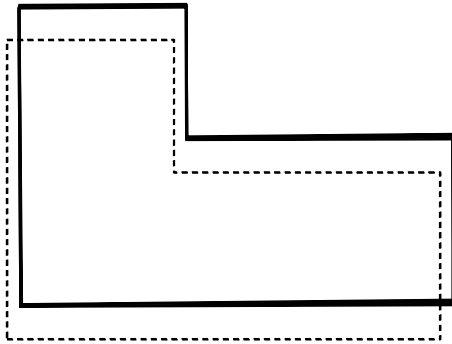


I modi 1 e 2 sono in direzione inclinata, tra loro ortogonali

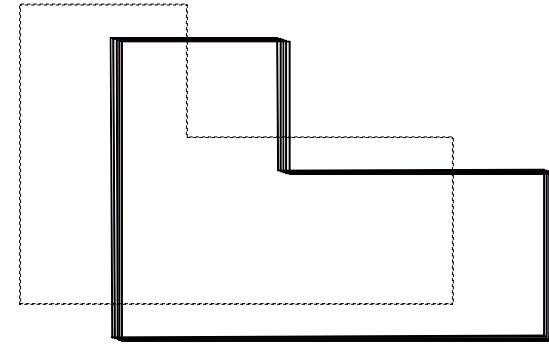
Il modo 3 è rotazionale,

Deformate modali

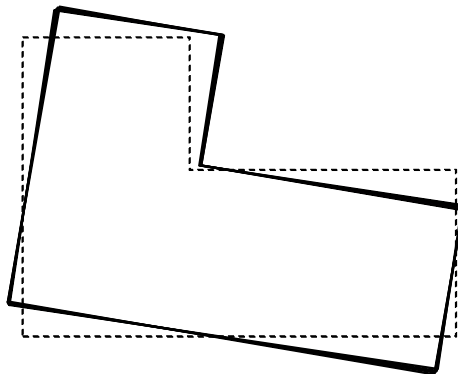
Modo 1 $T = 2.022 \text{ s}$



Modo 2 $T = 2.021 \text{ s}$



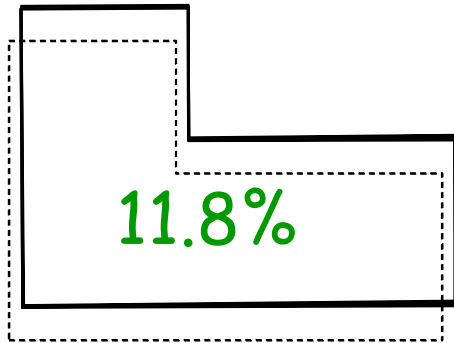
Modo 3 $T = 1.669 \text{ s}$



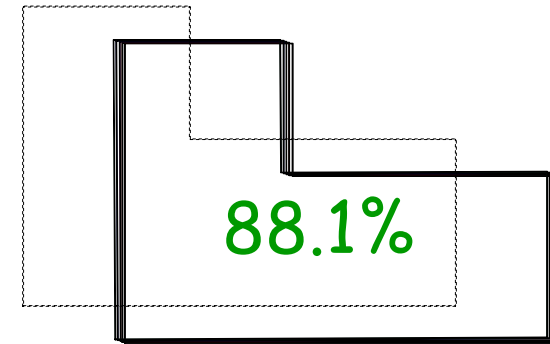
La struttura è torsionalmente rigida perché il rapporto tra periodo traslazionale e rotazionale è maggiore di 1

Masse partecipanti, sisma x

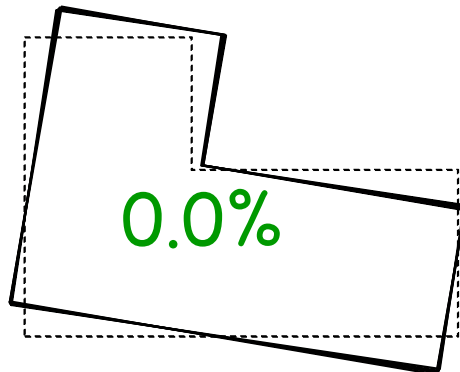
Modo 1 $T = 2.022 \text{ s}$



Modo 2 $T = 2.021 \text{ s}$

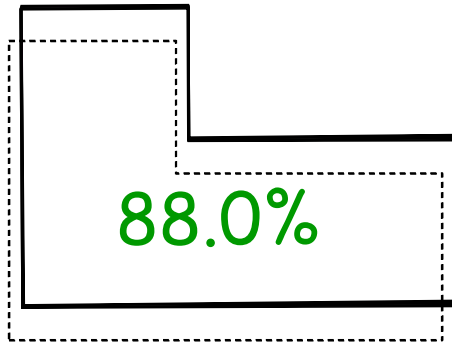


Modo 3 $T = 1.669 \text{ s}$

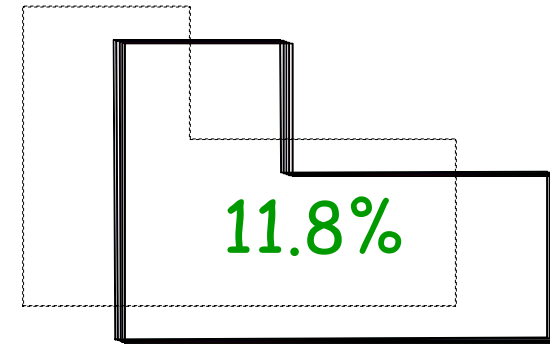


Masse partecipanti, sisma y

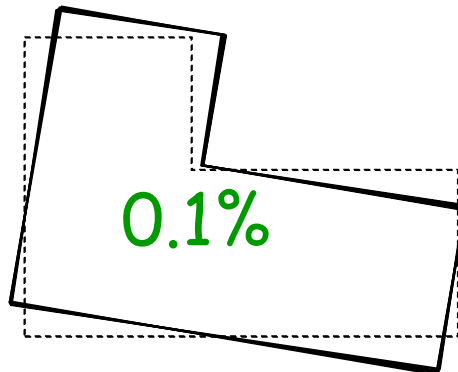
Modo 1 $T = 2.022 \text{ s}$



Modo 2 $T = 2.021 \text{ s}$



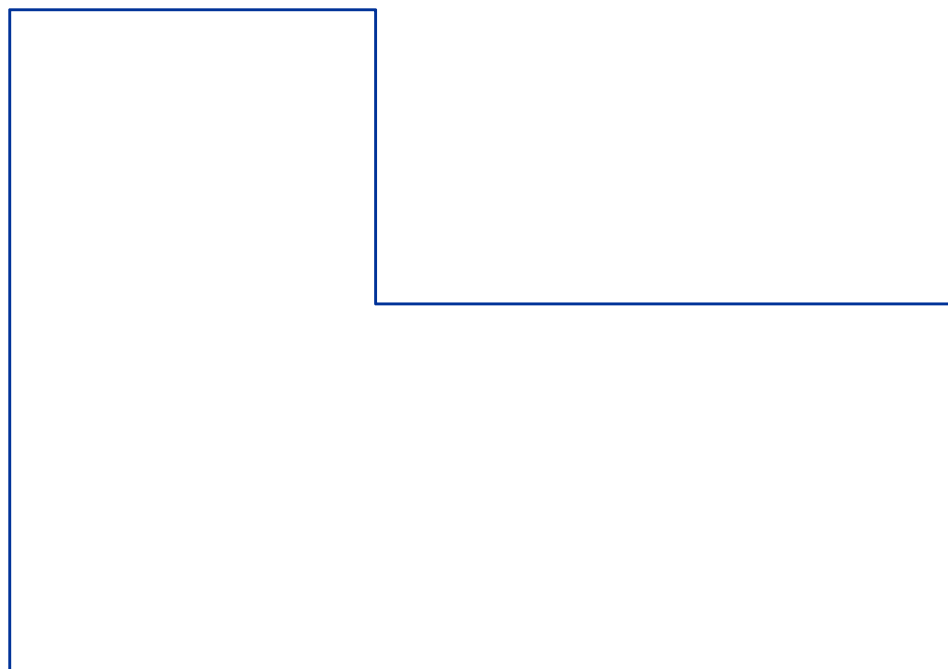
Modo 3 $T = 1.669 \text{ s}$



Inviluppo modale - sisma x

2.4

3.0

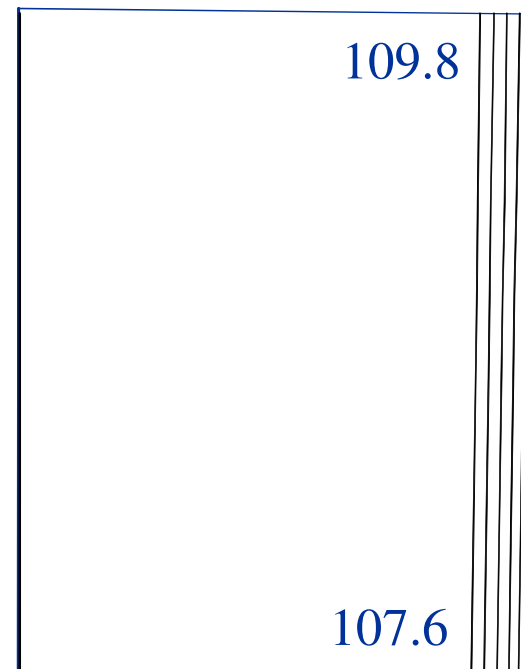


122.8

109.8

107.6

120.2



Inviluppo modale - sisma y

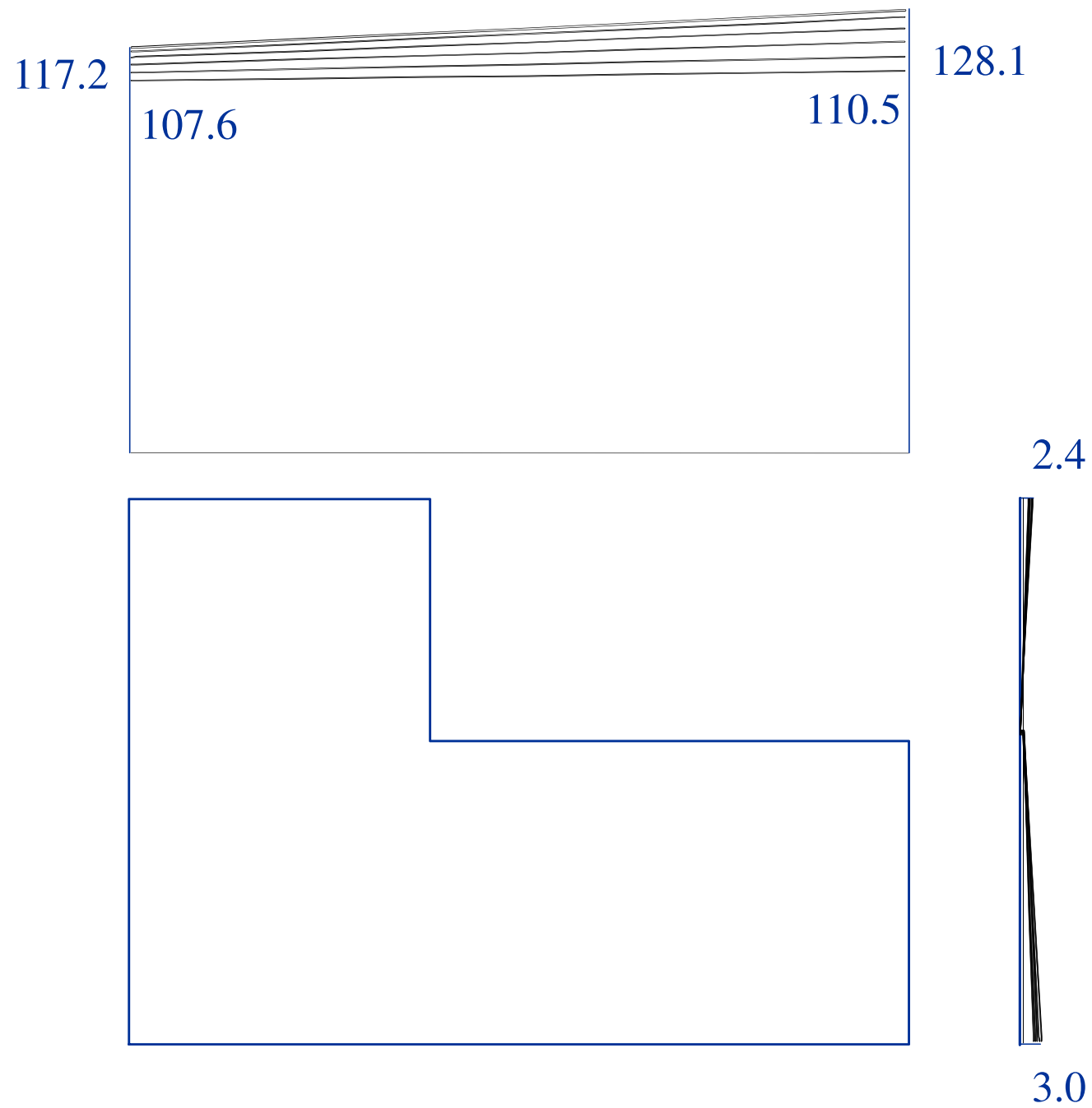


Diagramma del momento

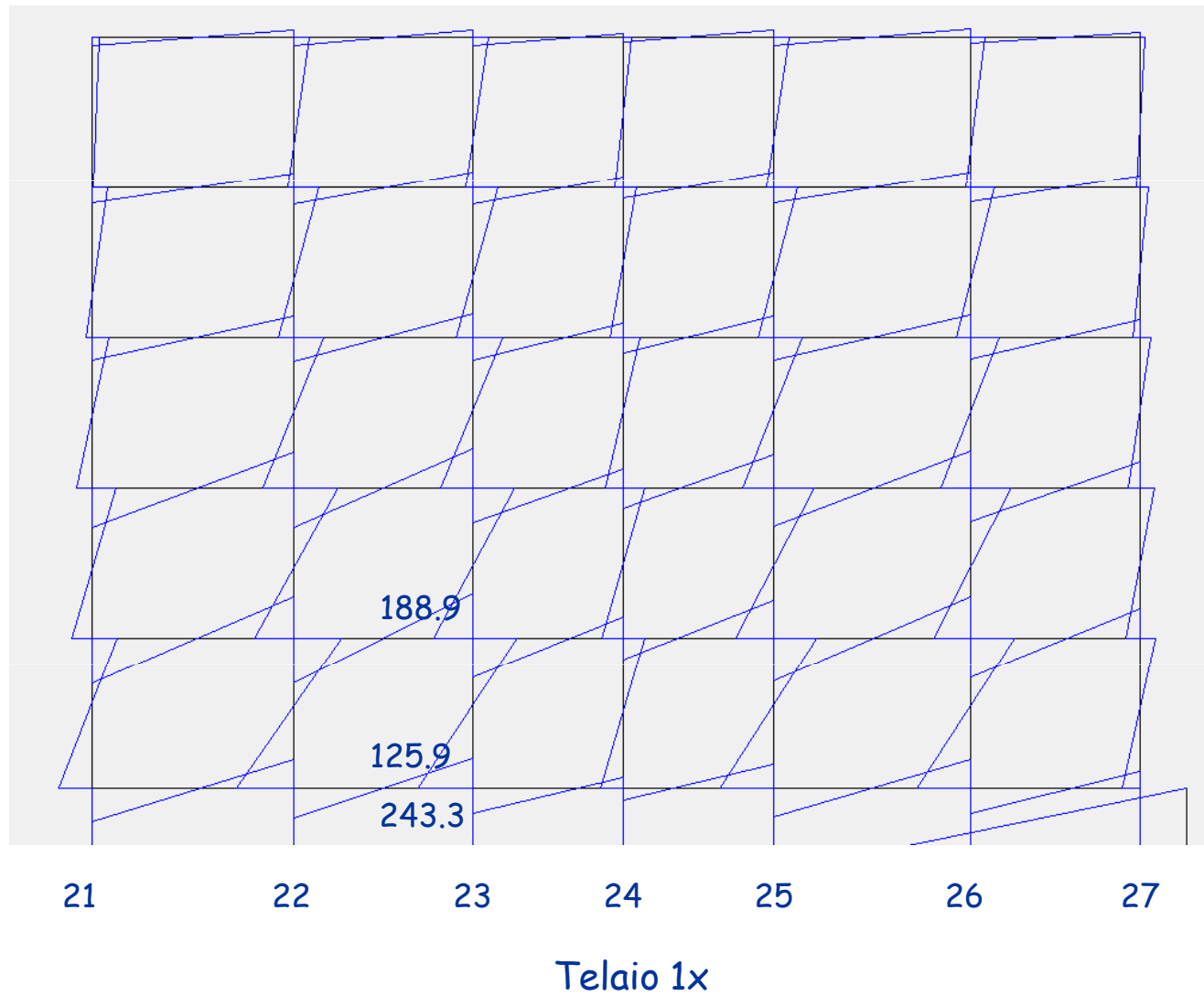
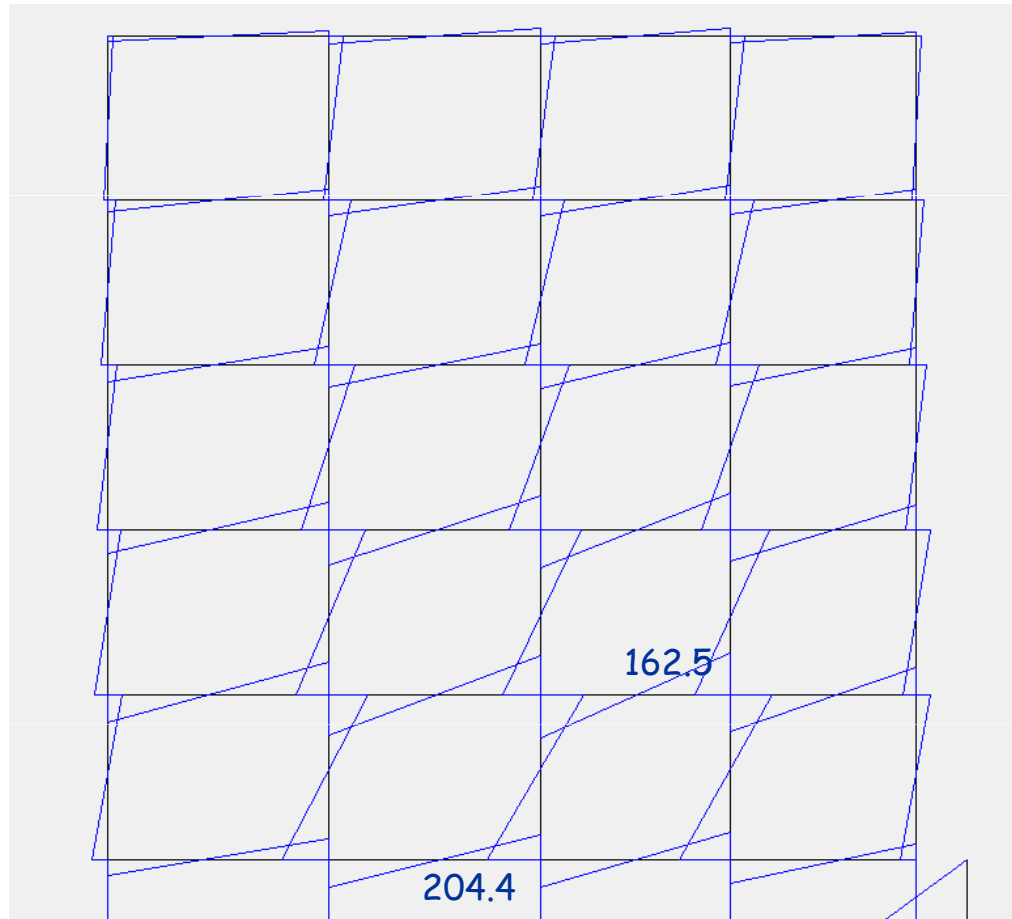


Diagramma del momento



22

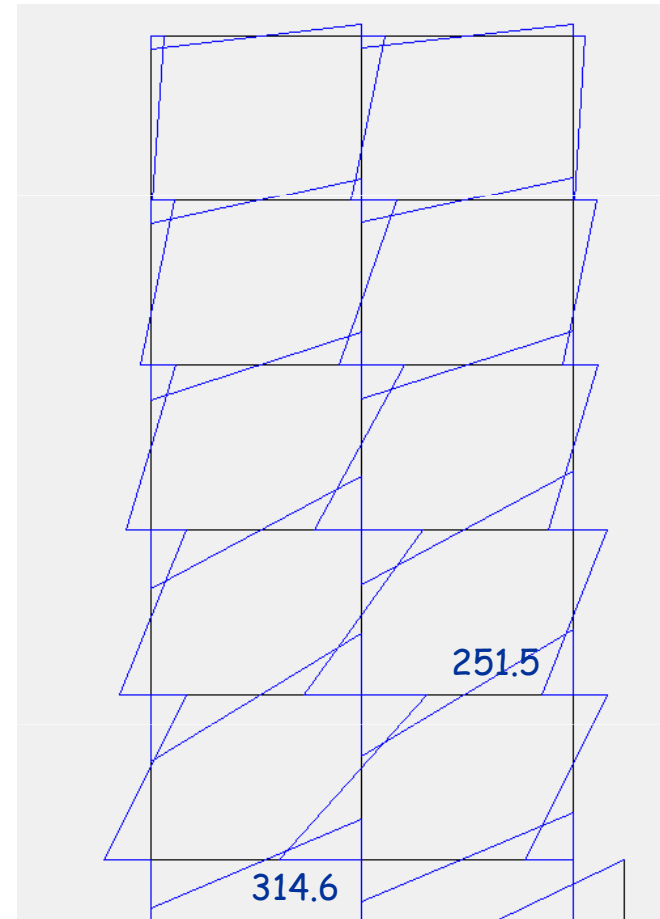
15

8

5

2

Telaio 2y



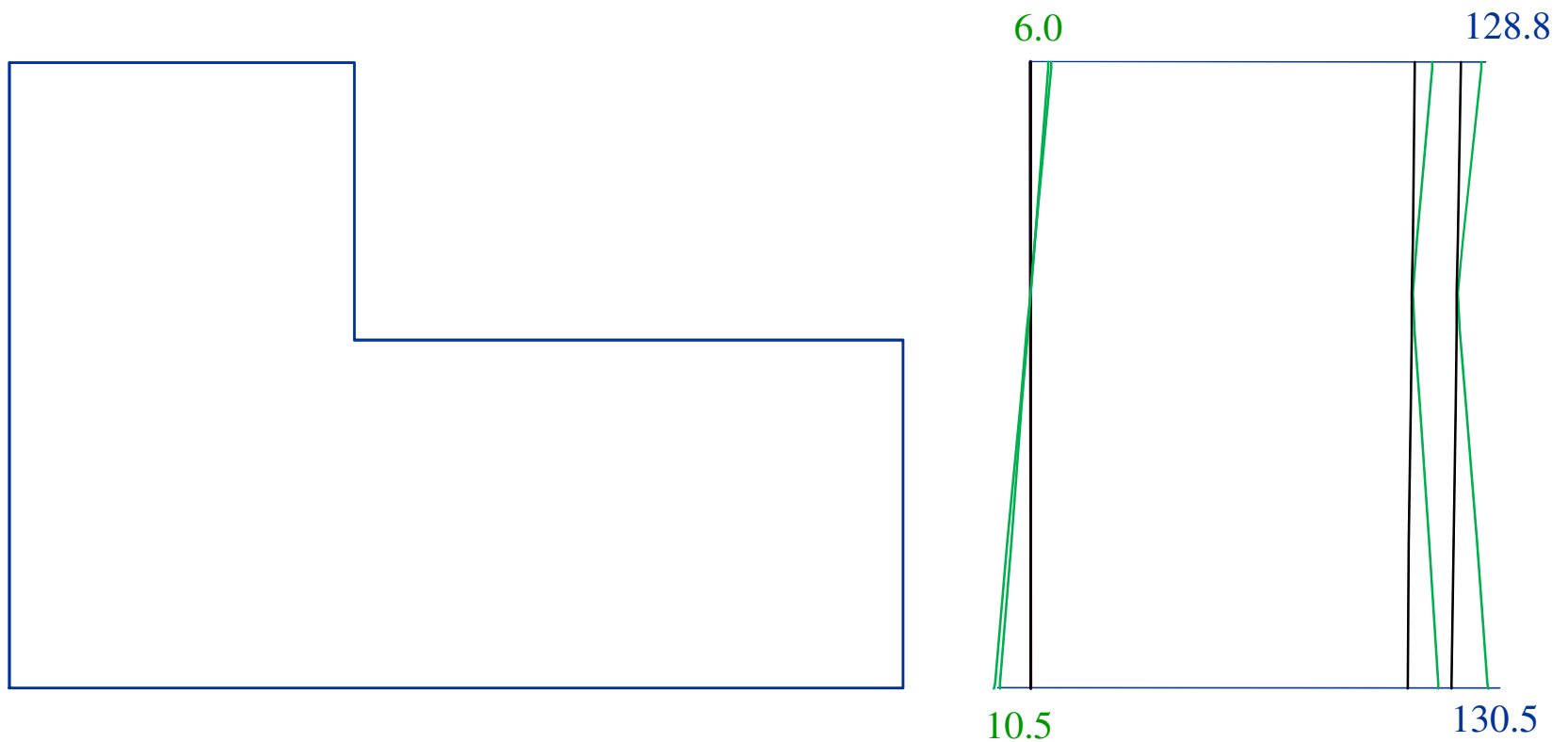
27

20

13

Telaio 7y

Spostamenti per forze e coppie direzione x (analisi modale)



Spostamenti per forze e coppie direzione y (a.mod.)

