

Corsi di aggiornamento
Progettazione strutturale
e Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

9. Vulnerabilità e rischio sismico di edifici esistenti in c.a.

09 – Verifica della struttura per
SLU (senza sisma) e SLD

Villa Redenta, Spoleto, 22-24 novembre 2018
Aurelio Gherzi

Verifica della struttura

per SLU (senza sisma) e SLD

Definito il modello ed i suoi parametri, anche in base alla conoscenza raggiunta, prima di affrontare la verifica sismica della struttura è opportuno:

- Valutare il comportamento della struttura per carichi verticali (verifica allo SLU senza sisma)
- Valutare il comportamento della struttura per SLD
- Per entrambi gli aspetti il modello della struttura è sostanzialmente lineare

Analisi lineare per SLU e SLD

Esempio

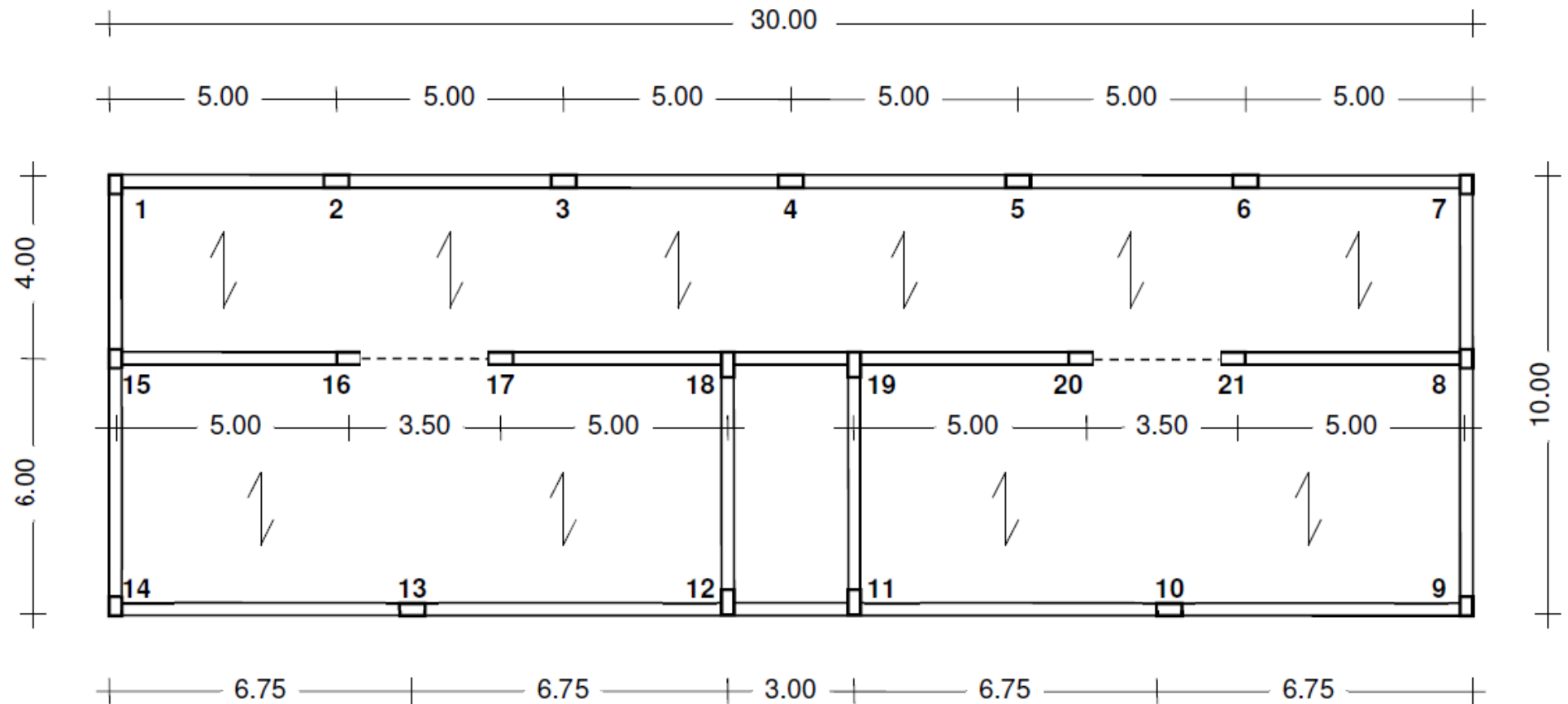
Esempio

- Si considera come esempio un edificio progettato per soli carichi verticali negli anni '70
 - Edificio residenziale con 8 impalcati, senza piano interrato
- Non è un edificio reale, ma contiene i principali aspetti di quella tipologia:
 - Carpenteria pensata per soli carichi verticali, con una trave di spina e due travi perimetrali
 - Sostanziale assenza di travi nella direzione trasversale
 - Pilastri dimensionati per soli carichi verticali e quindi con dimensioni minime (30x30) in molti dei piani superiori
 - Scala a soletta rampante (ma in molti casi in questa tipologia si trovano travi a ginocchio)
 - Interpiano 3.30 m

Fasi preliminari

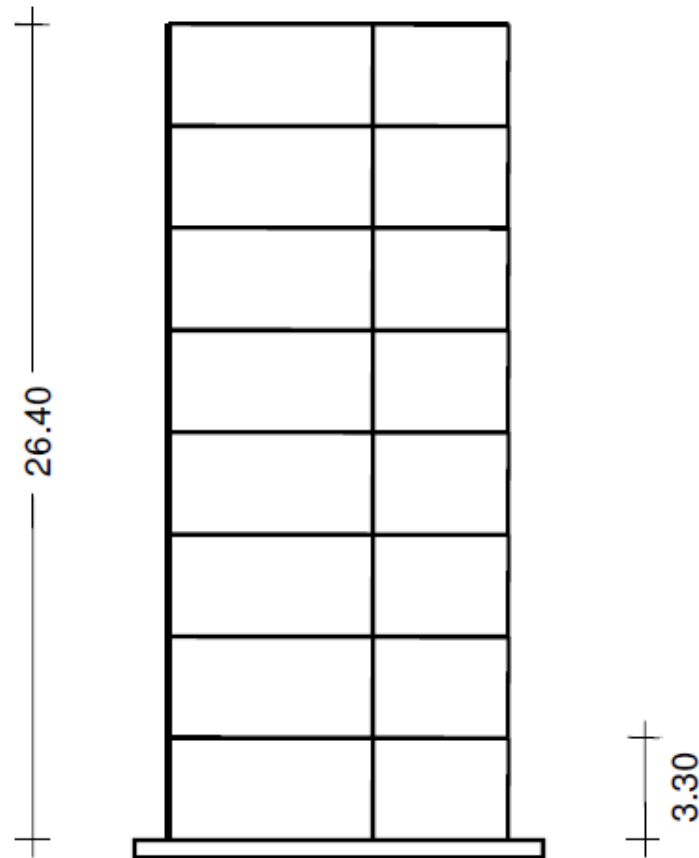
- Esame qualitativo della struttura
 - Commentato nella presentazione precedente, esempio 1
- Ricerca della documentazione disponibile
 - Anche se già dagli anni '70 vige l'obbligo di deposito al Genio Civile, non si è trovata alcuna documentazione
 - Si è effettuato un progetto simulato (già descritto in una presentazione precedente)
 - Si è proceduto ad un rilievo completo dell'architettonico e della struttura
 - Si sono valutate le caratteristiche dei materiali

Edificio esistente da esaminare



Carpenteria del piano tipo

Edificio esistente da esaminare



Sezione schematica dell'edificio

Materiali

Valori ottenuti mediante prove

Calcestruzzo:

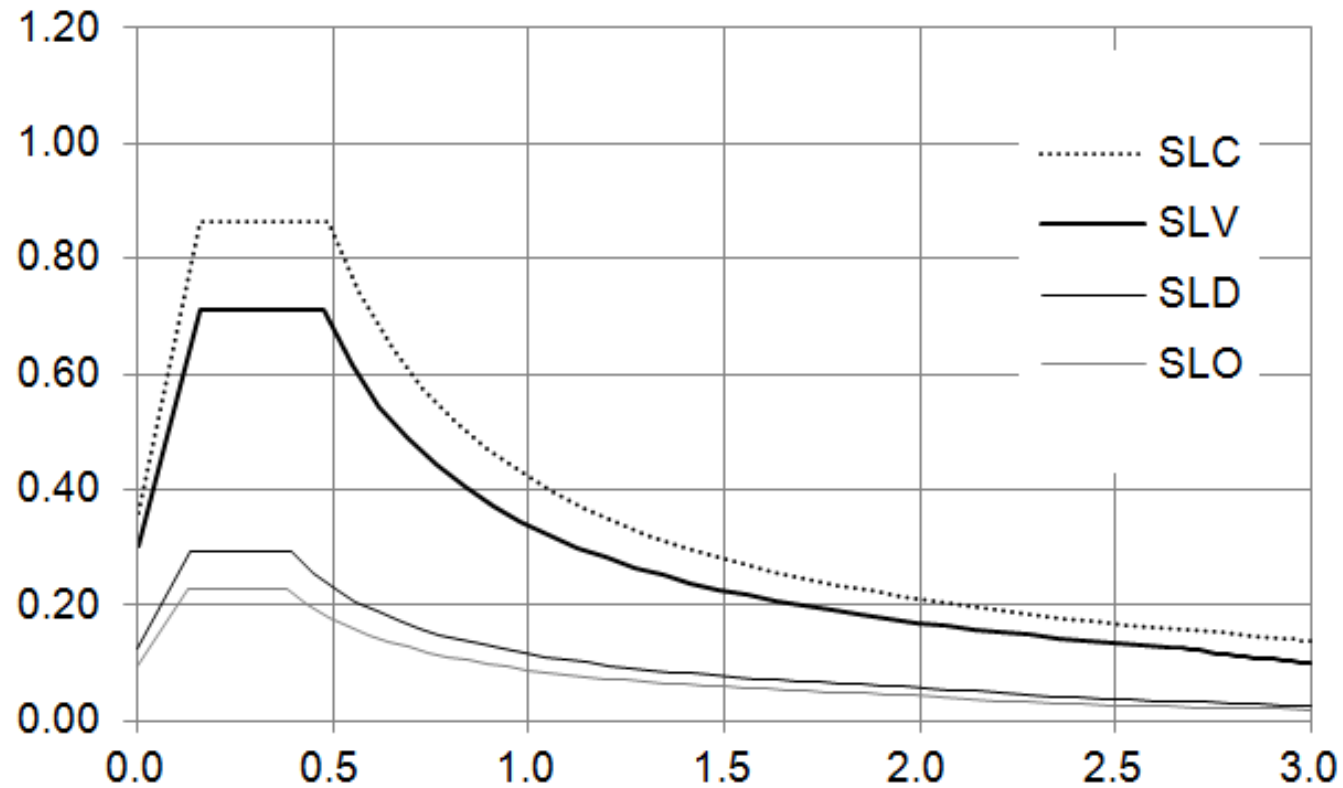
- Si ottiene dalle prove $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
(molto minore di quanto corrisponde a $R_{ck} = 25 \text{ MPa}$)
- Fattore di confidenza: $FC = 1.2$
a causa della dispersione dei valori riscontrata

Acciaio:

- Si trovano barre ad aderenza migliorata;
si ottiene dalle prove $f_{ym} = 380 \text{ MPa}$
(plausibile per un FeB38k, o leggermente inferiore)
- Fattore di confidenza: $FC = 1.05$
- Perché non c'è rilevante dispersione dei valori

Pericolosità sismica del sito

Sito dell'esempio - spettri elastici



T_r [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^*
30	0.079	2.400	0.270
50	0.104	2.330	0.280
475	0.261	2.360	0.350
975	0.334	2.400	0.360

Pericolosità
sismica
su roccia

Analisi modale

Modello della struttura

- Modello:
 - tridimensionale (telaio spaziale)
composto da telai a maglie rettangolari (solo il primo telaio in direzione x ha la trave della scala a quota intermedia)
- Rigidezza aste:
 - rigidezza nominale delle sezioni, senza offset né riduzione rigidezza per fessurazione
 - ulteriore schema senza offset ma con riduzione travi 0.5 e irrigidimento pilastri 1.1 (questa variazione è calibrata per piccoli spostamenti, quindi per SLU senza sisma e SLD)
- Tamponature:
 - non inserite nel modello

Esame della struttura

Carichi verticali in assenza di sisma

Tipo di analisi lineare

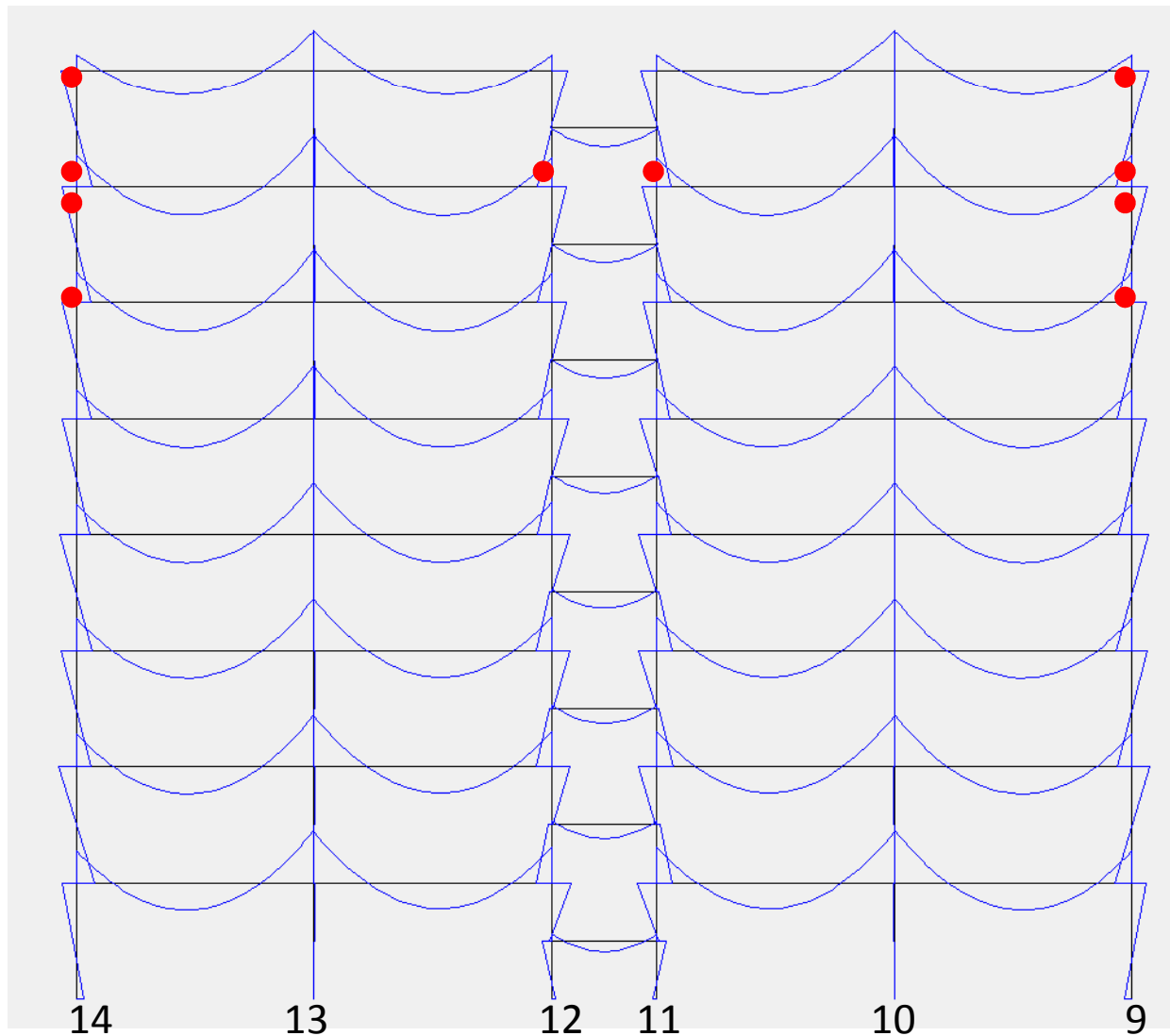
- Analisi per carichi verticali (in assenza di sisma)
- La rigidezza delle aste (fessurata o nominale) ha poca influenza sui risultati

Carichi verticali

SLU in assenza di sisma

- Telaio 1 x (in basso in pianta)

●
sezioni non
verificate

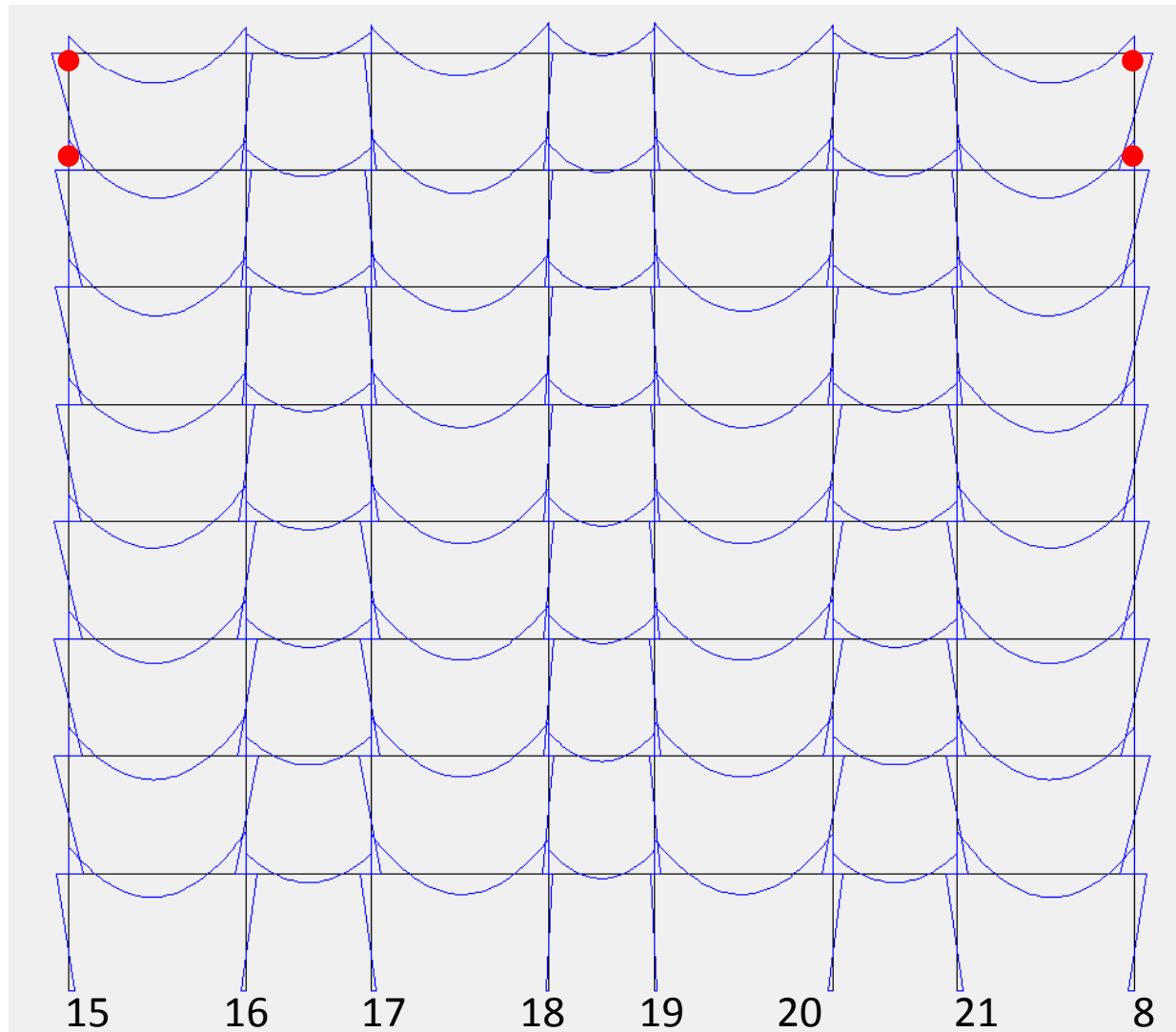


Carichi verticali

SLU in assenza di sisma

- Telaio 2 x (di spina)

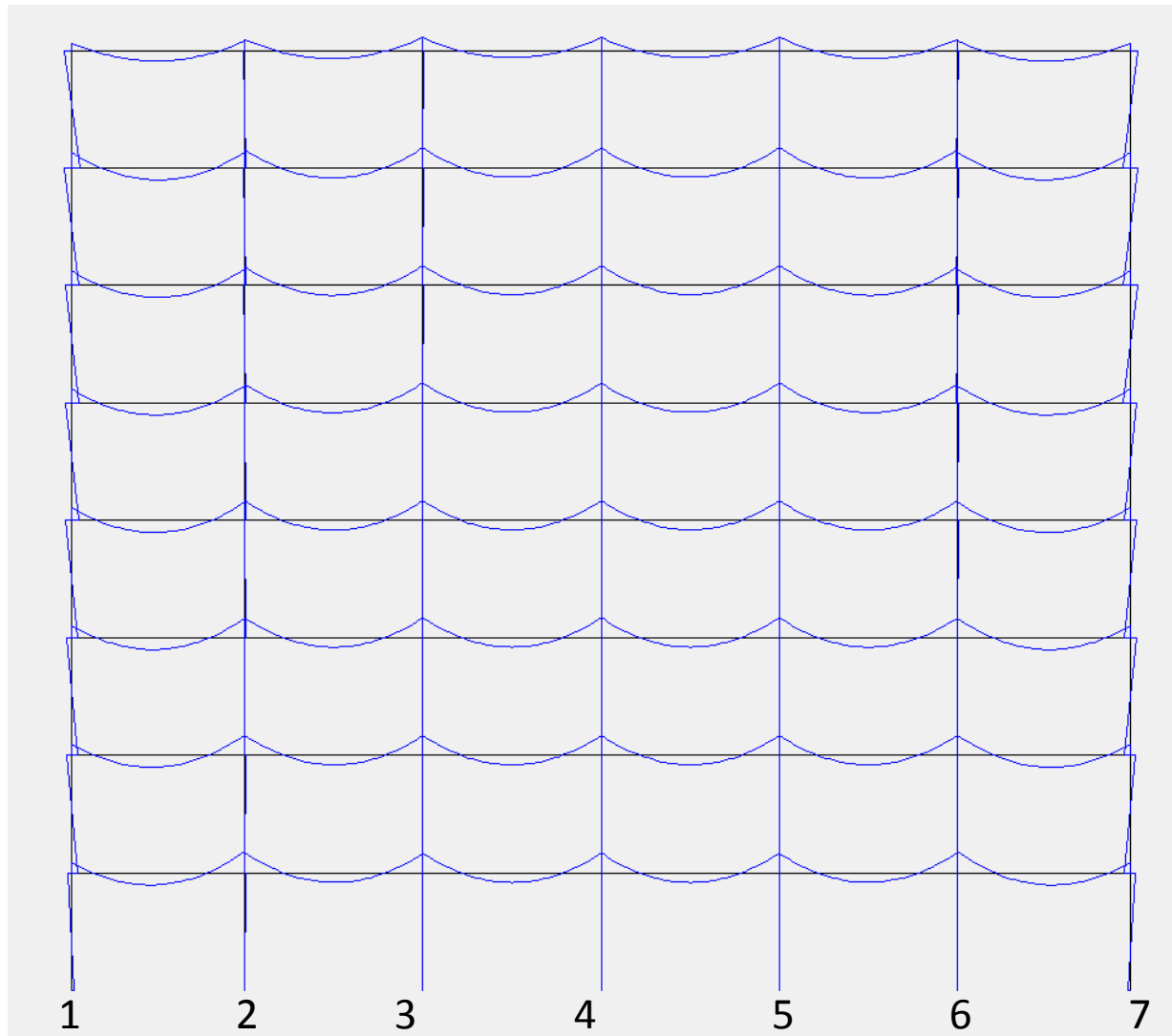
•
sezioni non
verificate



Carichi verticali

SLU in assenza di sisma

- Telaio 3 x (in alto in pianta)



Considerazioni

SLU in assenza di sisma

- Alcune sezioni di pilastri non rispettano la verifica
- È normale che ciò avvenga, perché i carichi verticali inducono un momento flettente non considerato nel progettarli
- Una situazione del genere, limitata a pochi pilastri e causata dal momento flettente per carichi verticali non previsto nel dimensionamento, è fisiologica, cioè è normale che avvenga e non desta alcun pericolo
- Occorre solo vedere in che modo giustificarla

Esame risultati
Per SLD

Tipo di analisi lineare

- Analisi per carichi verticali (in presenza di sisma)
- Analisi modale con spettro di risposta elastico, per SLD
 - Con centro di massa nella posizione nominale
 - Con centro di massa spostato per eccentricità orizzontale (dopo valutazioni più rigorose si è assunto $e=0.03 L$)
 - Involuppo dell'azione sismica, considerando anche il 30% dell'azione sismica nell'altra direzione

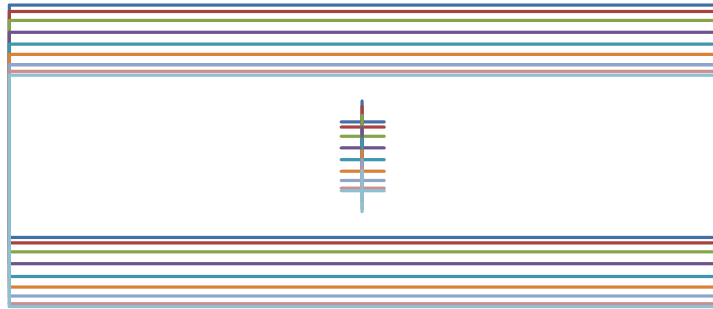
Stato limite di danno SLD

- Si sono presi in considerazione solo gli spostamenti relativi tra impalcati adiacenti (perché su questi si basa il giudizio SLD)
- Non si è preso in esame l'effetto dei carichi verticali perché irrilevante ai fini dello spostamento

Analisi modale

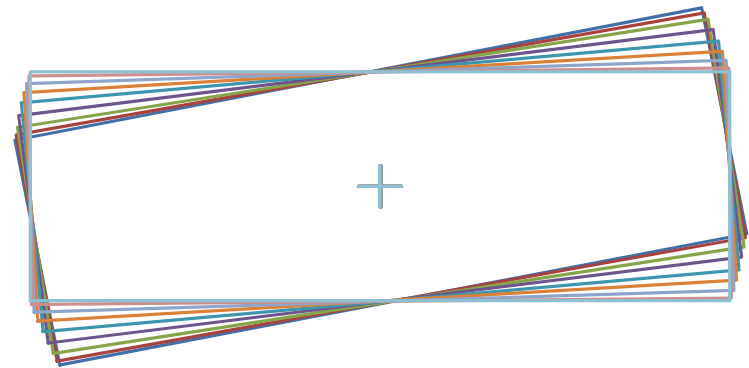
schema base

- È stata effettuata una analisi modale con spettro di risposta

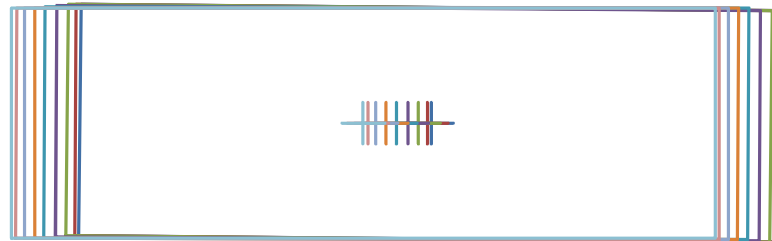


modo 1 – $T=2.02$ s
traslazione y

$M^* = 71.0\%$
per sisma y



modo 2 – $T=1.43$ s
rotazione



modo 3 – $T=1.24$ s
traslazione x

$M^* = 74.2\%$
per sisma x

Analisi modale

schema base

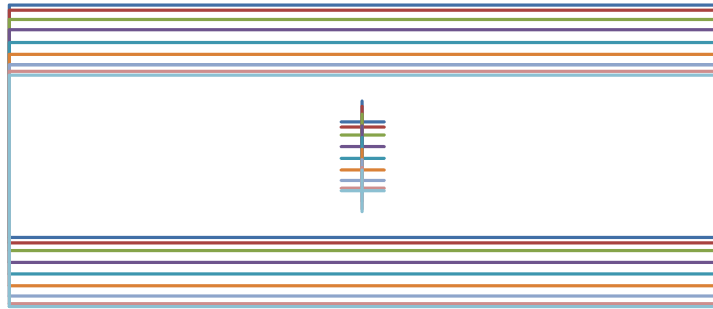
Considerazioni:

- I modi sono sostanzialmente disaccoppiati
- Il periodo in direzione y è veramente alto, a causa della bassa rigidezza in quella direzione
- Il periodo in direzione x è abbastanza alto, perché i pilastri dei piani superiori sono piccoli
- Il modo rotazionale è in seconda posizione; questo implica che la struttura è torsionalmente deformabile per sisma x

Analisi modale

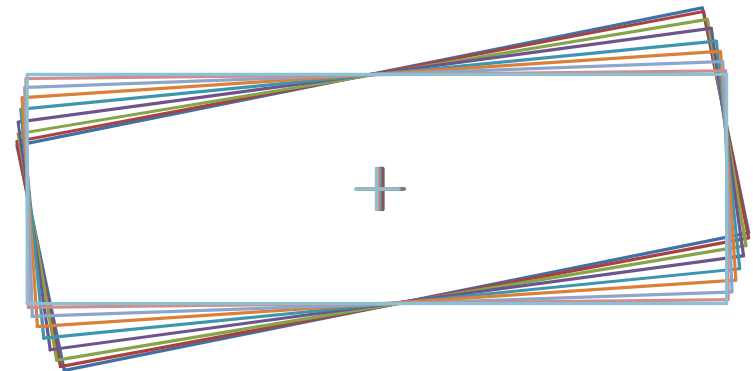
schema con rigidezza ridotta

- È stata ripetuta l'analisi modale con spettro di risposta



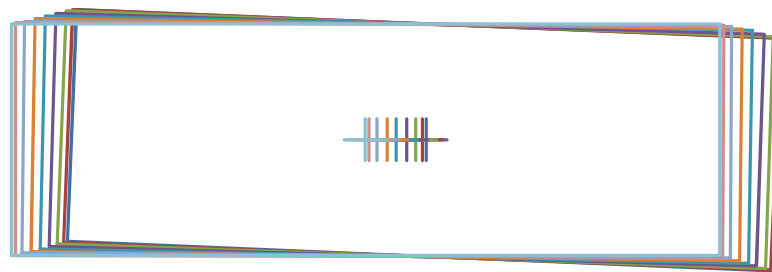
modo 1 – $T=2.36$ s
traslazione y

$M^* = 71.7\%$
per sisma y



modo 2 – $T=1.66$ s
rotazione

$M^* = 1.7\%$
per sisma x



modo 3 – $T=1.46$ s
traslazione x

$M^* = 73.2\%$
per sisma x

Analisi modale

schema con rigidezza ridotta

Considerazioni:

- Compare un leggero accoppiamento tra x e rotazione
- I periodi sono leggermente aumentati (circa 15%)
- Rimane la deformabilità torsionale per sisma x

Controllo SLD

direzione x

- Spostamenti relativi, includendo eccentricità e 30% sisma ortogonale
 - Modello base

telai x		spostamento relativo massimo								
n	y		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.15		3.766	6.899	7.669	7.468	7.741	7.671	6.369	3.808
2	6		3.638	6.460	7.253	6.995	7.574	7.455	5.988	3.490
3	9.85		3.821	6.732	7.650	7.386	8.278	8.023	6.295	3.647

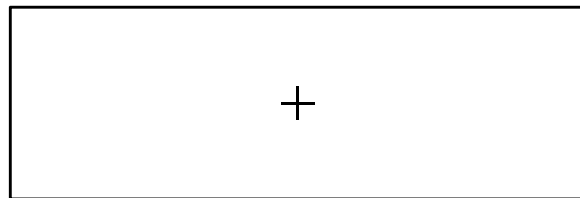
- Modello con rigidezza ridotta

telai x		spostamento relativo massimo								
n	y		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.15		4.010	8.083	9.303	9.038	8.873	8.222	6.520	3.862
2	6		3.981	7.858	9.054	8.728	8.807	8.126	6.298	3.652
3	9.85		4.203	8.237	9.532	9.173	9.525	8.678	6.602	3.829

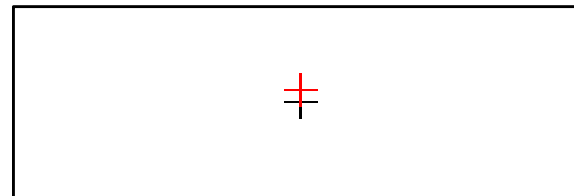
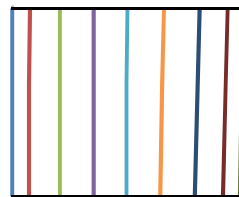
Controllo SLD

direzione x

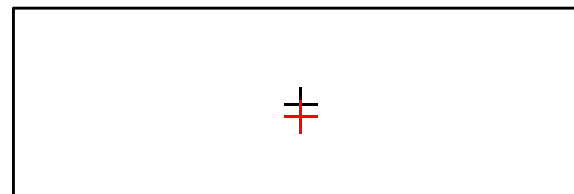
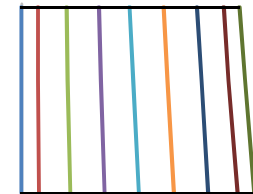
- Si noti l'effetto della deformabilità torsionale



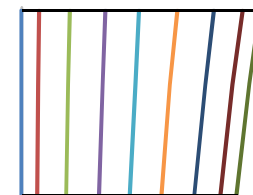
Centro di massa nella
posizione nominale:
traslazione



Centro di massa spostato
verso l'alto:
aumenta lo spostamento
della parte bassa



Centro di massa spostato
verso il basso:
aumenta lo spostamento
della parte alta



Controllo SLD

direzione y

- Spostamenti relativi, includendo eccentricità e 30% sisma ortogonale
 - Modello base

n	y		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.15		5.289	11.088	13.318	14.032	15.726	15.250	11.966	8.176
2	6.75		4.821	10.188	12.246	12.939	14.409	14.089	11.088	7.604
3	13.5		4.353	9.294	11.197	11.884	13.128	12.980	10.248	7.057
4	15		4.317	9.239	11.129	11.816	13.038	12.901	10.193	7.024
5	16.5		4.353	9.294	11.197	11.884	13.128	12.980	10.248	7.057
6	23.25		4.821	10.188	12.246	12.939	14.409	14.089	11.088	7.604
7	29.85		5.289	11.088	13.318	14.032	15.726	15.250	11.966	8.176

- Modello con rigidezza ridotta

n	y		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.15		5.464	12.162	14.881	15.400	16.007	14.648	11.478	8.081
2	6.75		4.882	10.952	13.453	13.983	14.471	13.325	10.469	7.412
3	13.5		4.298	9.739	12.043	12.602	12.973	12.045	9.489	6.762
4	15		4.232	9.619	11.901	12.460	12.815	11.909	9.390	6.700
5	16.5		4.298	9.739	12.043	12.602	12.973	12.045	9.489	6.762
6	23.25		4.882	10.952	13.453	13.983	14.471	13.325	10.469	7.412
7	29.85		5.464	12.162	14.881	15.400	16.007	14.648	11.478	8.081

Controllo SLD

- Lo spostamento relativo massimo è in direzione y (5° ordine) e vale 16.01 mm
- Il limite di spostamento è $0.005 \times 3300 = 16.5$ mm
- C'è un margine pari a $16.5/16.01=1.031$
L'edificio rispetta i limiti per SLE
- Potrebbe portare un sisma leggermente maggiore (di 1.031)
e quindi $a_{g,SLE} = 0.104 \times 1.031 = 0.107$ g
corrispondente a un periodo di ritorno leggermente superiore a 50 anni