VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Catania, 25 giugno – 2 luglio 2019

06 – Prime verifiche: SLU (senza sisma) e SLD

Docente del corso

AURELIO GHERSI

Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CATANIA

Verifica della struttura

per SLU, in assenza di sisma

Verifica della struttura

per SLU (senza sisma)

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)
  - È importante capire se la struttura è in grado di portare i carichi verticali senza problemi (e con quali margini) o se vi sono problemi fisiologici oppure patologici
- Si può utilizzare un modello lineare

Verifica della struttura

per SLU (senza sisma)

Piccoli (?) problemi operativi:

- La verifica richiede il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione per soli carichi verticali con un modello lineare (domanda D) ed il confronto con le resistenze (capacità C)
  - Sarebbe perfetto avere un programma al quale descrivere anche l'armatura e le caratteristiche dei materiali, che possa fare automaticamente il confronto tra D e C
  - In mancanza di questo è molto utile che il programma che calcola D esporti i risultati in fogli di calcolo, in cui si può aggiungere il calcolo automatico della capacità C fatto con formule note (anche approssimate)

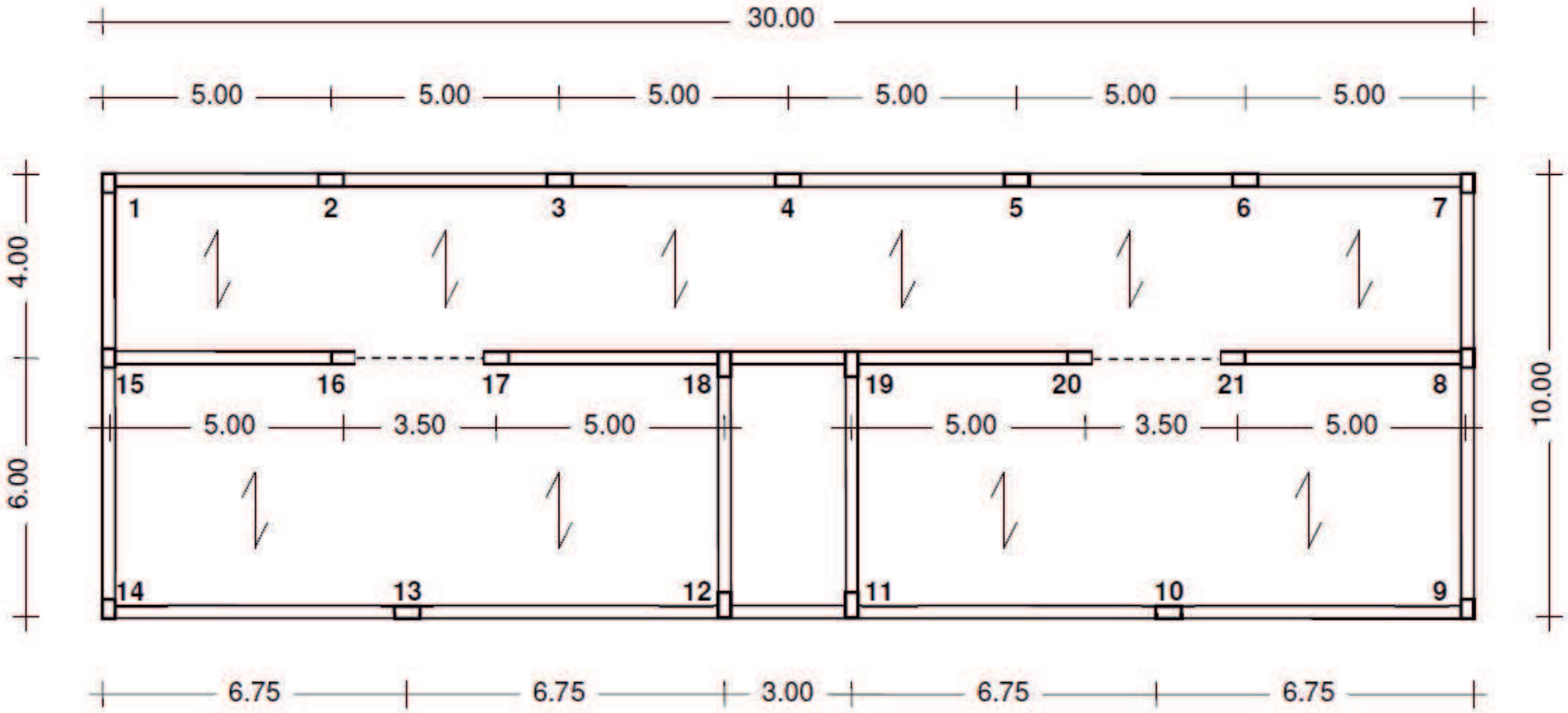
Esempio

- 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

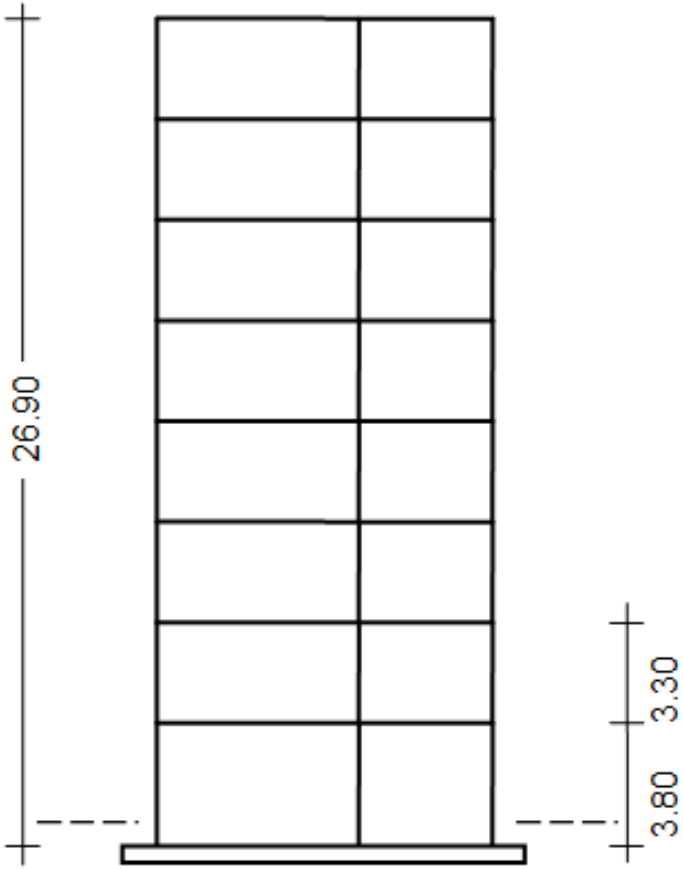
- Ricerca della documentazione disponibile
  - Anche se già dagli anni '70 vige l'obbligo di deposito al Genio Civile, non si è trovata alcuna documentazione
  - Si è effettuato un progetto simulato (già descritto in una presentazione precedente)
  - Si è proceduto ad un rilievo completo dell'architettonico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

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 MPa
  (molto minore di quanto corrisponde a R_{ck} = 25 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 MPa
  (plausibile per un FeB38k, anche se leggermente inferiore)
- Fattore di confidenza: FC = 1.05
  perché non c'è rilevante dispersione dei valori

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 tiene conto dell'assenza di offset ed è calibrata per piccoli spostamenti, quindi per SLU senza sisma e SLD)
- Tamponature:
  - non inserite nel modello

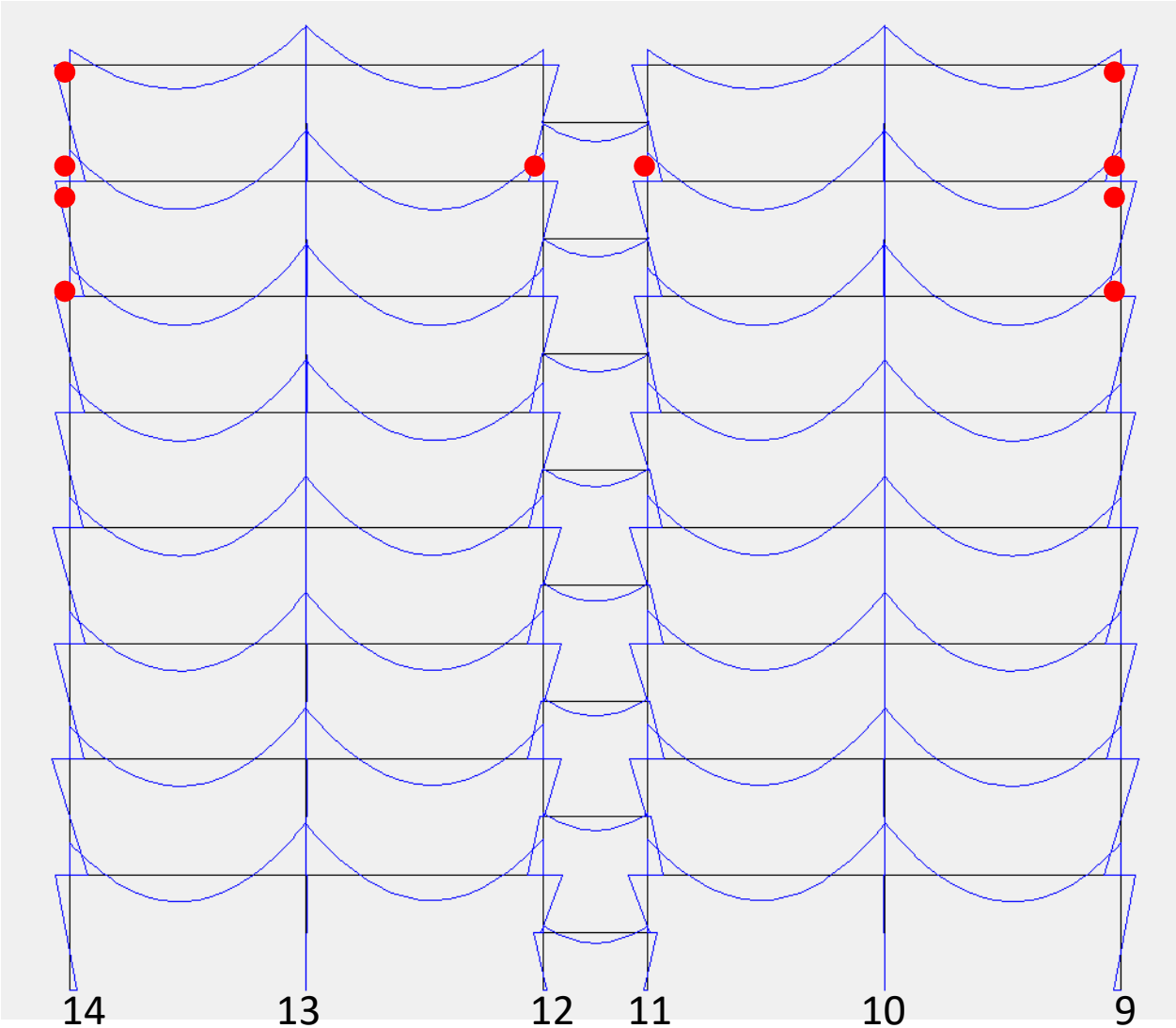
Analisi svolta

- 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)

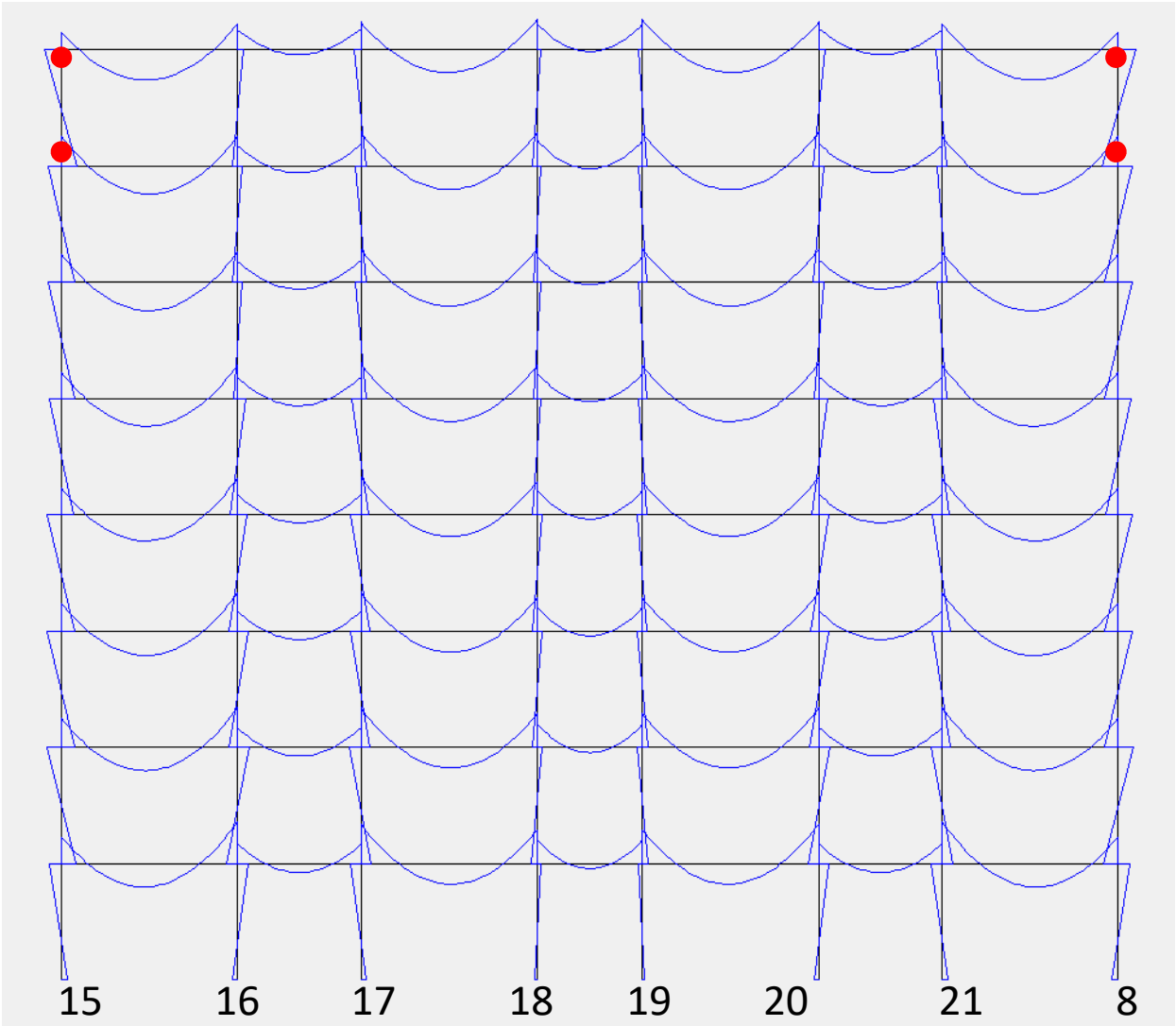


● sezioni non verificate

Carichi verticali

SLU in assenza di sisma

- Telaio 2 x (di spina)

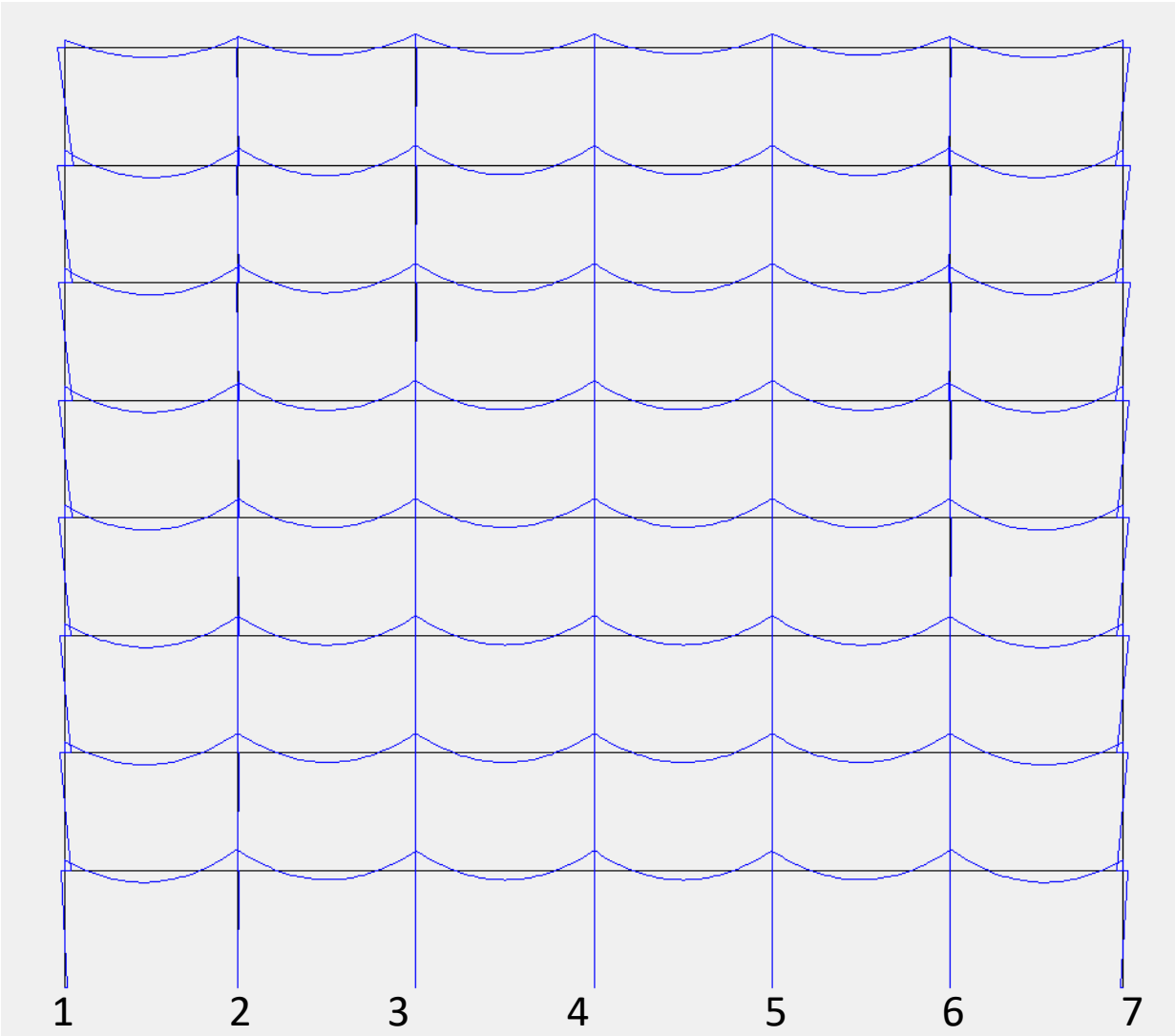


sezioni non verificate

Carichi verticali

SLU in assenza di sisma

- Telaio 3 x (in alto in pianta)



Considerazioni

SLU in assenza di sisma

Commento

- 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 e come tener conto di questa informazione nelle successive analisi sismiche

Considerazioni

SLU in assenza di sisma

Cosa sarebbe patologico?

- È possibile che l'analisi lineare mostri in alcune sezioni (estremi di trave) un momento negativo sollecitante superiore a quello resistente
  - Si ricordi che la normativa consente una analisi lineare con ridistribuzione, cioè ridurre il momento sollecitante negativo purché si consideri l'effetto di questa riduzione con condizioni di equilibrio
    tipicamente: incremento di momento positivo in campata
  - Se con la ridistribuzione la struttura è verificata, si può considerare accettabile (fisiologico) questo comportamento

Considerazioni

SLU in assenza di sisma

Cosa sarebbe patologico?

- È possibile che l'analisi lineare mostri in alcune sezioni (in campata per le travi) un momento positivo sollecitante superiore a quello resistente
  - Questa situazione è più preoccupante
  - Se lo scarto è rilevante occorre approfondire (controllo di armature e carico, eventuali prove di carico, ecc.)

Considerazioni

SLU in assenza di sisma

Cosa sarebbe patologico?

- È possibile che l'analisi lineare mostri in alcune sezioni (estremità di travi) un taglio sollecitante superiore a quello resistente
  - Controllare innanzitutto se vi sono barre sagomate e se nel calcolo della resistenza a taglio sono state prese in considerazione
  - Ricordarsi che nella verifica si può utilizzare un cot θ fino a 2.5 (anche se io preferisco limitarlo a 2)
  - Se, tenuto conto di tutto questo, lo scarto D-C è forte la situazione è da approfondire

Considerazioni

SLU in assenza di sisma

Cosa sarebbe patologico?

- È possibile che l'analisi lineare mostri che alcuni pilastri stano lavorando ad una tensione media inaccettabile o comunque molto elevata

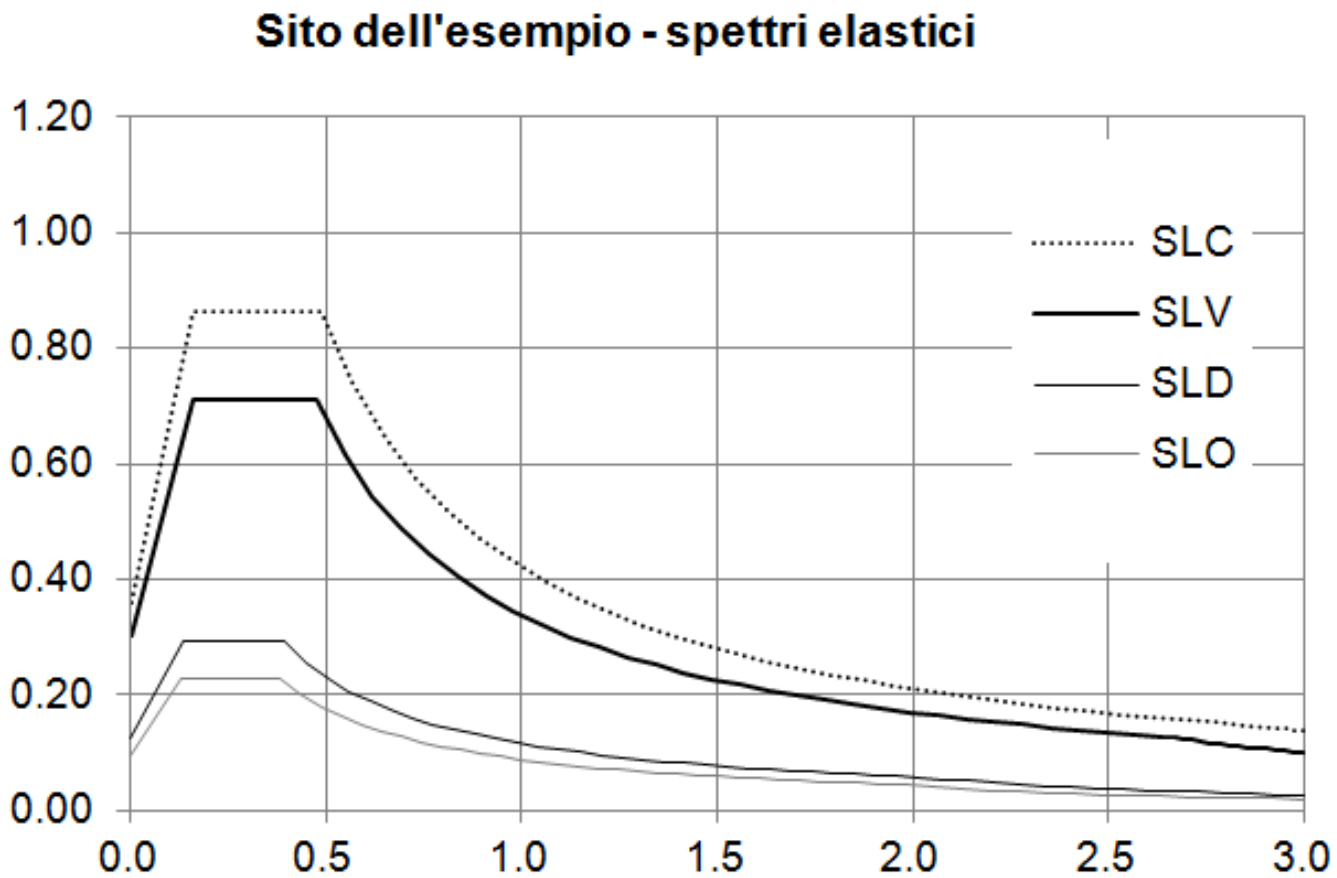
  Questo è spesso dovuto alla bassa resistenza del calcestruzzo più che a errori di progettazione

  - Questa situazione è preoccupante
  - Se la tensione media è inaccettabile occorre approfondire con urgenza
  - Se la tensione media è alta ma rientra nei limiti, si possono prevedere problemi nelle successive analisi sismiche

Verifica della struttura

in presenza di sisma, per SLD

Pericolosità sismica del sito



Spettri per suolo B

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

Verifica della struttura

in presenza di sisma, per SLD

- La normativa sismica non impone per gli edifici esistenti una verifica allo SLD …

  ma questa verifica è indispensabile (e rilevante) per la definizione della classe di rischio sismico
- La verifica richiede un controllo degli spostamenti relativi (drift) di piano
- È possibile usare un modello lineare
  - Anche in presenza di non linearità si può ipotizzare che lo spostamento non cambi

- Può essere interessante controllare anche la resistenza delle sezioni allo SLD con un fattore q=1.5 …

  ma non è richiesto da nessuna normativa

Tipo di analisi

lineare

- Analisi per carichi verticali (valori $g_k + \psi_2 q_k$, cioè quelli in presenza di sisma)
- Analisi modale con spettro di risposta elastico, per SLD
  - Analisi modale con centro di massa nella posizione nominale
  - Analisi modale con centro di massa spostato per eccentricità orizzontale (dopo valutazioni più rigorose si è assunto e=0.03 L)
  - Inviluppo dell'azione sismica, considerando anche il 30% dell'azione sismica nell'altra direzione

- Modello strutturale
  come per SLU senza sisma

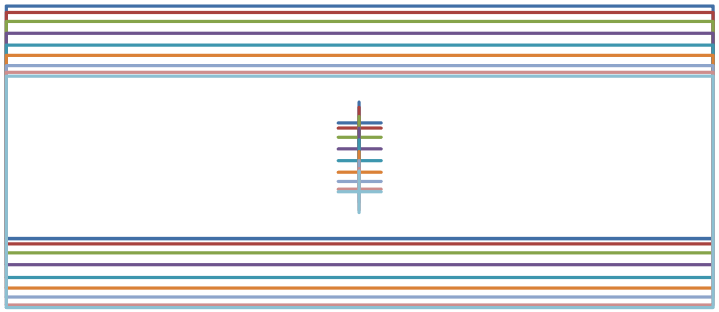
Stato limite di danno SLD

- 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

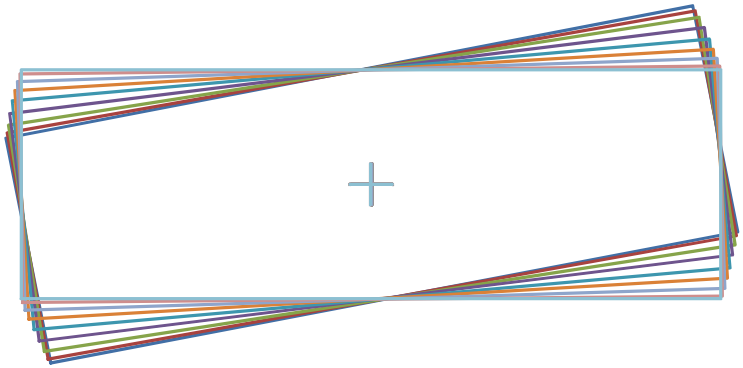
schema base

- È stata effettuata una analisi modale con spettro di risposta

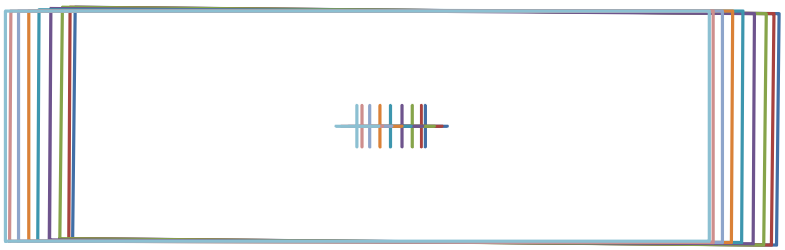


modo 1 – T=2.02 s
traslazione y

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

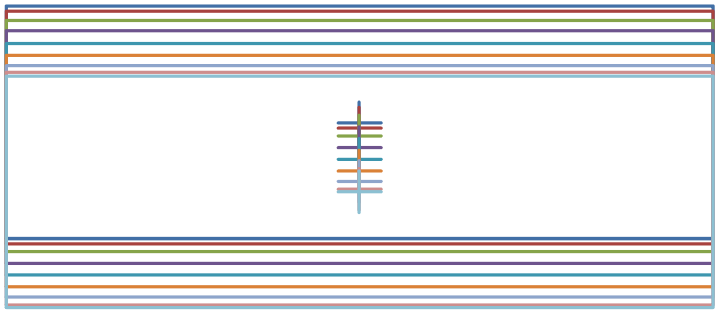
Considerazioni:

- 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

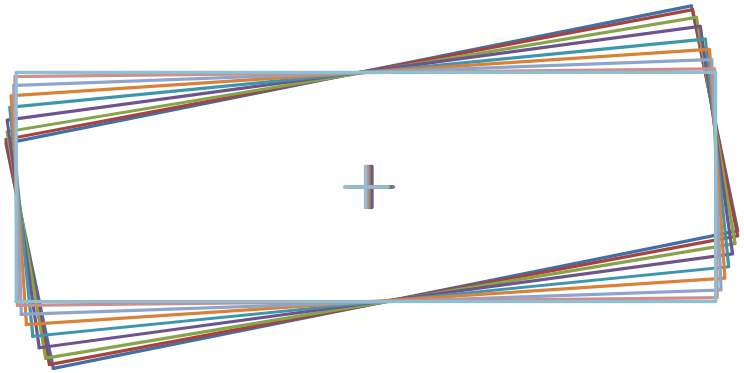
schema con rigidezza ridotta

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



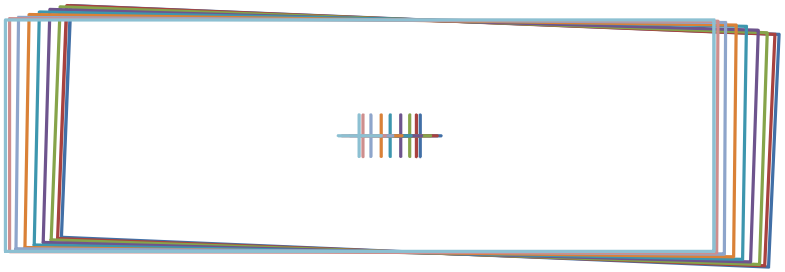
modo 1 – T=2.36 s
traslazione y

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

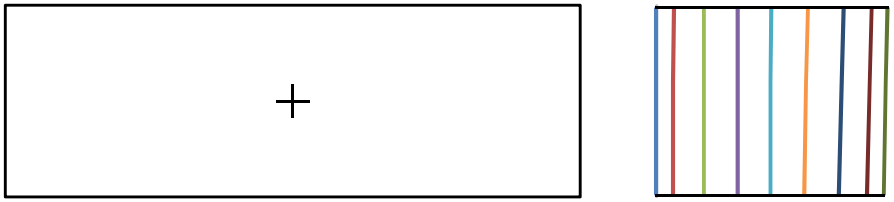
telai x		spostamento relativo massimo								
n	y		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.15		4.010	8.083	9.303	9.038	8.873	8.222	6.520	3.862
2	6		3.981	7.858	9.054	8.728	8.807	8.126	6.298	3.652
3	9.85		4.203	8.237	9.532	9.173	9.525	8.678	6.602	3.829

Controllo SLD

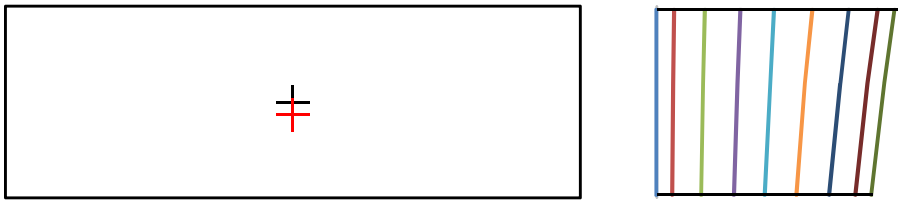
direzione x

- Si noti l'effetto della deformabilità torsionale

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



Centro di massa nella posizione nominale:
traslazione



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 x 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 x 1.031 = 0.107 g
  corrispondente a un periodo di ritorno leggermente superiore a 50 anni