

Università degli Studi di Sassari  
Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU)

# TECNICA DELLE COSTRUZIONI 2

Adeguamento sismico di strutture in c.a.  
con controventi metallici esterni

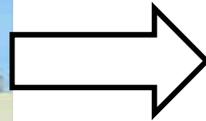
Ing. Linda Giresini  
*lgiresini@uniss.it*



# Problemi degli edifici esistenti in c.a. anni '60

---

- Travi e pilastri di sezioni non adeguate per resistere ad un'azione sismica
- Irregolarità in altezza in termini di masse e rigidezze (piano pilotis)

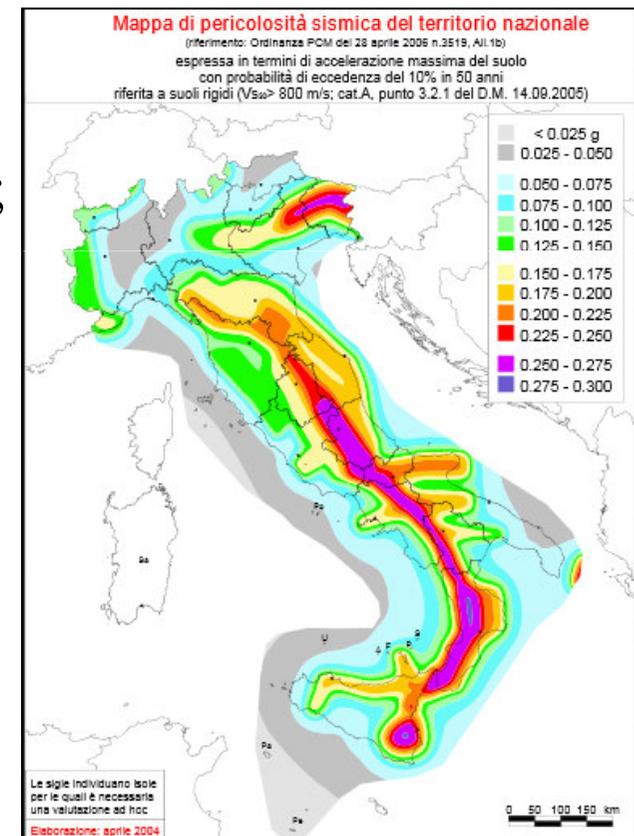


- Pannelli di tamponamento suscettibili di moti fuori piano
-

# Adeguamento sismico degli edifici in c.a.

Per far sì che un edificio sia adeguato sismicamente, occorre che sia in grado di assorbire l'azione sismica di progetto, dipendente da:

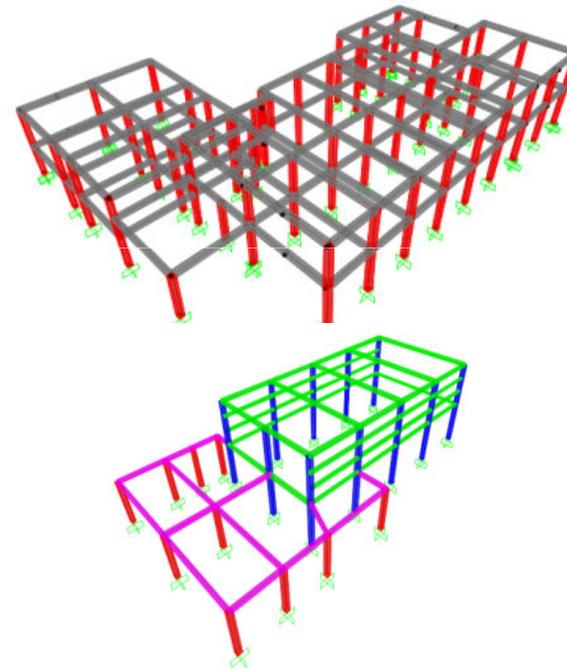
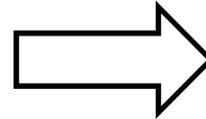
- 1) Sito di costruzione;
- 2) Stato Limite (Danno, Salvaguardia della Vita);
- 3) Categoria di sottosuolo e topografica;
- 4) Irregolarità della struttura in altezza;
- 5) Fattore di struttura  $q$  (capacità dissipativa)



# Progetto di adeguamento sismico

---

**Primo passo:** modellazione strutturale  
(geometria, proprietà meccaniche e carichi)



**PROCESSO DI CONOSCENZA**

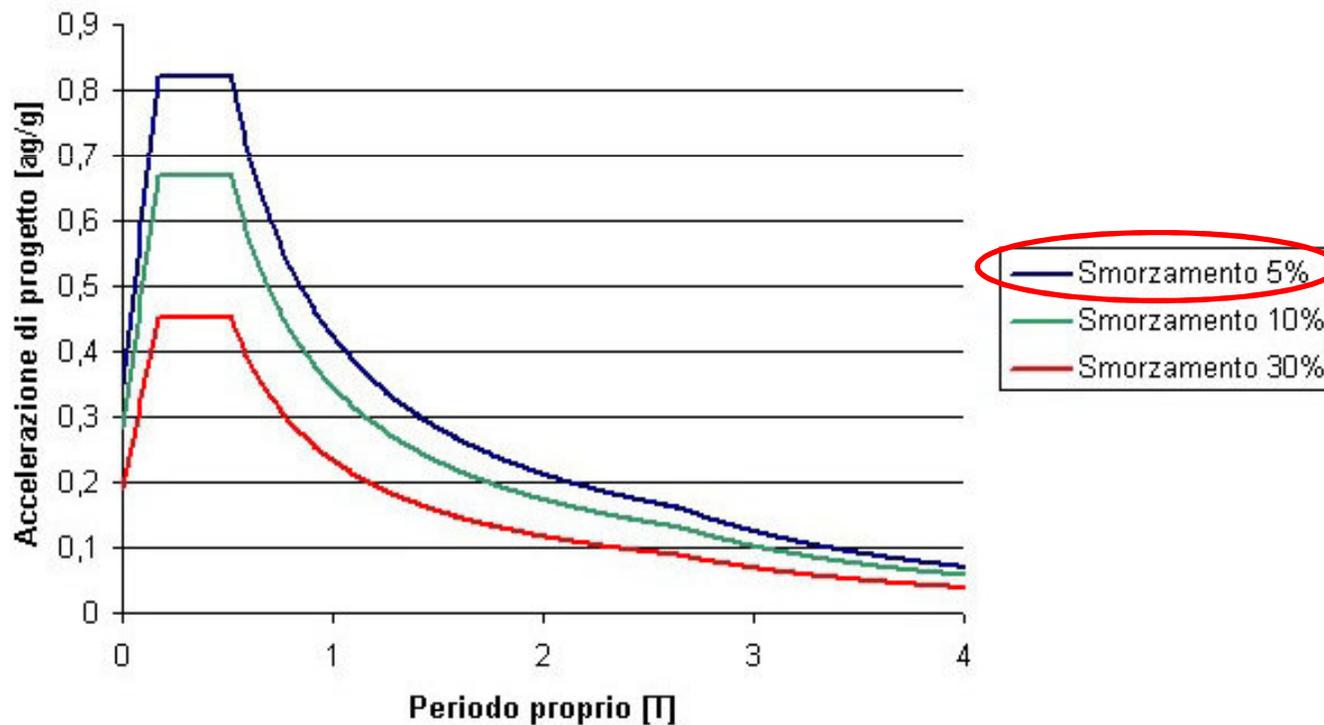
---

# Spettri di risposta

---

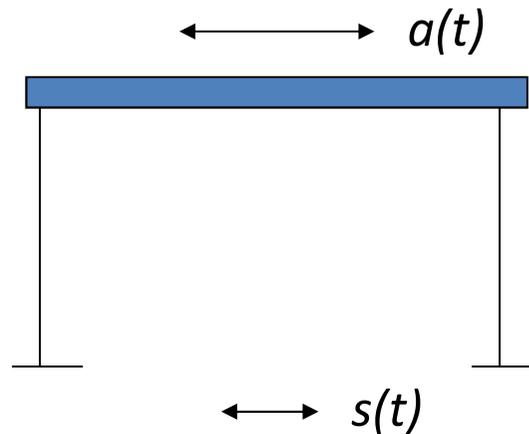
Lo spettro di risposta (azione sismica) serve al progettista per individuare le accelerazioni di progetto cui sottoporre la struttura.

Spettri di RISPOSTA SLV



# Edificio assimilato ad un “oscillatore a 1 grado di libertà”

---

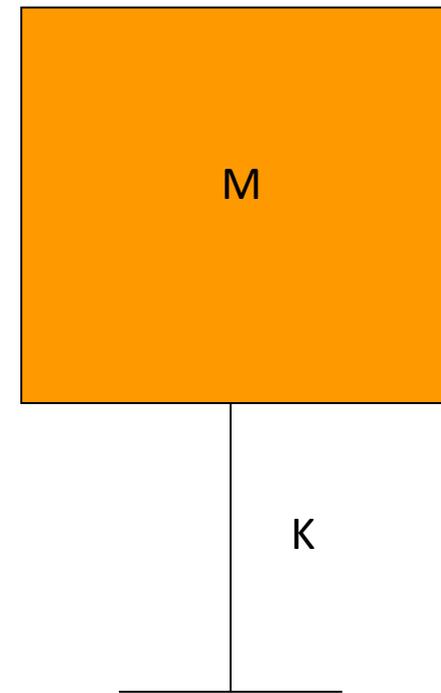
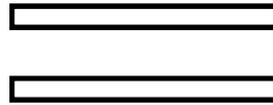


Sono gli spostamenti o le accelerazioni massime che, in occasione di un sisma, consegue un oscillatore a un sol grado di libertà di generico periodo proprio  $T$ .

# Edificio assimilato ad un “oscillatore a 1 grado di libertà”

---

In estrema sintesi:



Edificio 1 gdL = massa  $M$  + ritegno deformabile  $K$

# Edificio assimilato ad un “oscillatore a 1 grado di libertà”

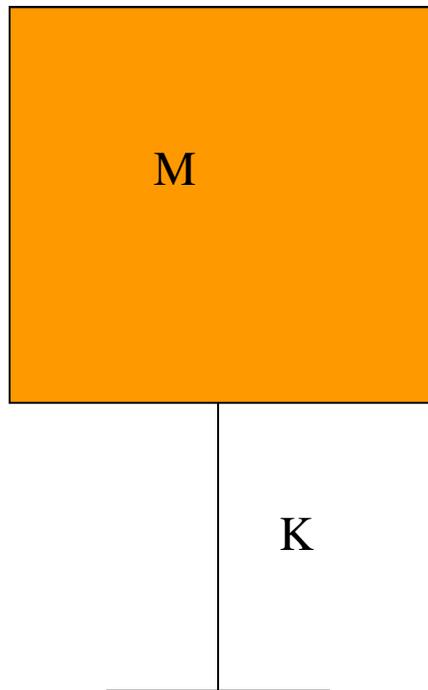
---

Pulsazione propria

$$\omega = \sqrt{K/M}$$

Periodo proprio

$$T = 2\pi / \omega$$



Spettro di risposta:

mi fornisce tutti (!!)

gli spostamenti o accelerazioni

massime al variare di T

Edificio 1 gdl = massa M + ritegno deformabile K

# Edificio assimilato ad un “oscillatore a 1 grado di libertà”

Esempio:

edificio a 1 piano – massa 100 tonn

Rigidezza flessionale 10000 KN/m

Pulsazione  $\omega = \sqrt{(10000/100)} = 10$  rad/sec

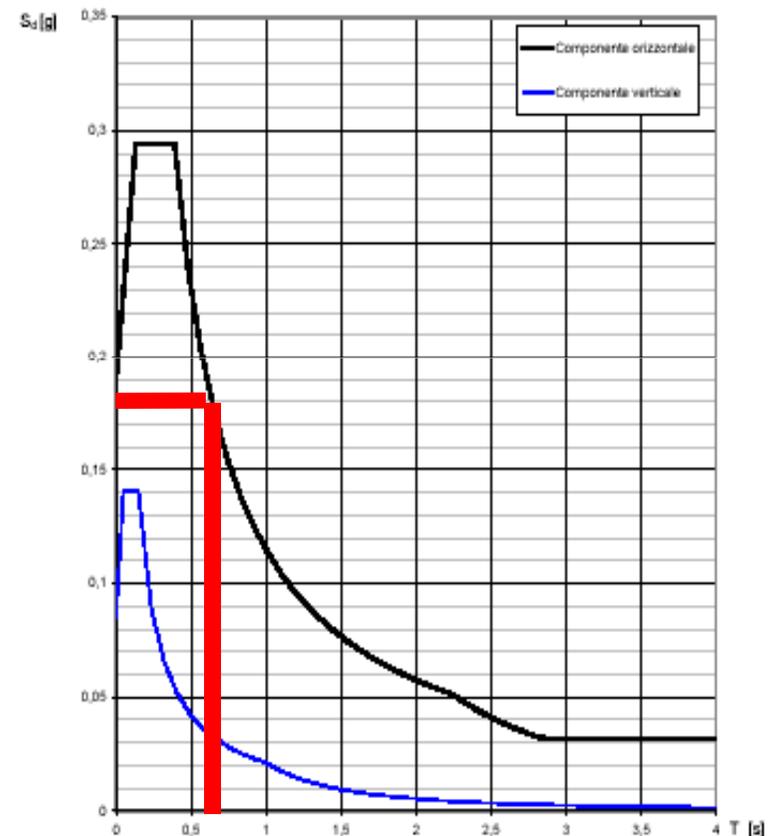
Periodo  $T = 2\pi / \omega = 2 * 3,14/10 = 0,628$  sec

Dallo spettro di risposta leggo

(SLV orizzontale):

acc. max = 0,18 g

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



## Esempio di spettro di risposta determinato con l'uso del programma Spettri NTC (Ministero dei Lavori Pubblici)

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 11.4595      LATITUDINE: 43.9334

Ricerca per comune

REGIONE: Toscana      PROVINCIA: Firenze      COMUNE: Vicchio

Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

- Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

# Esempio di spettro di risposta determinato con l'uso del programma Spettri NTC (Ministero dei Lavori Pubblici)

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="45"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="75"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="712"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1462"/>

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

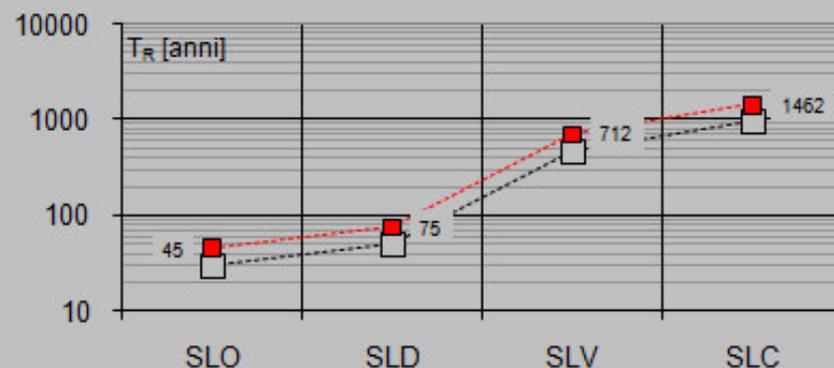
Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

----□---- Strategia per costruzioni ordinarie

----■---- Strategia scelta

Strategia di progettazione



## Esempio di spettro di risposta determinato con l'uso del programma Spettri NTC (Ministero dei Lavori Pubblici)

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite  
Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica  
Categoria di sottosuolo **B** info  $S_B = 1,182$   $C_C = 1,409$  info  
Categoria topografica **T1** info  $h/H = 0,000$   $S_T = 1,000$  info

Compon. orizzontale  
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%) **5**  $\eta = 1,000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_0$  **1,5** Regol. in altezza **sì** info

Compon. verticale  
Spettro di progetto Fattore  $q$  **1,5**  $\eta = 0,667$  info

Elaborazioni  
Grafici spettri di risposta  
Parametri e punti spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

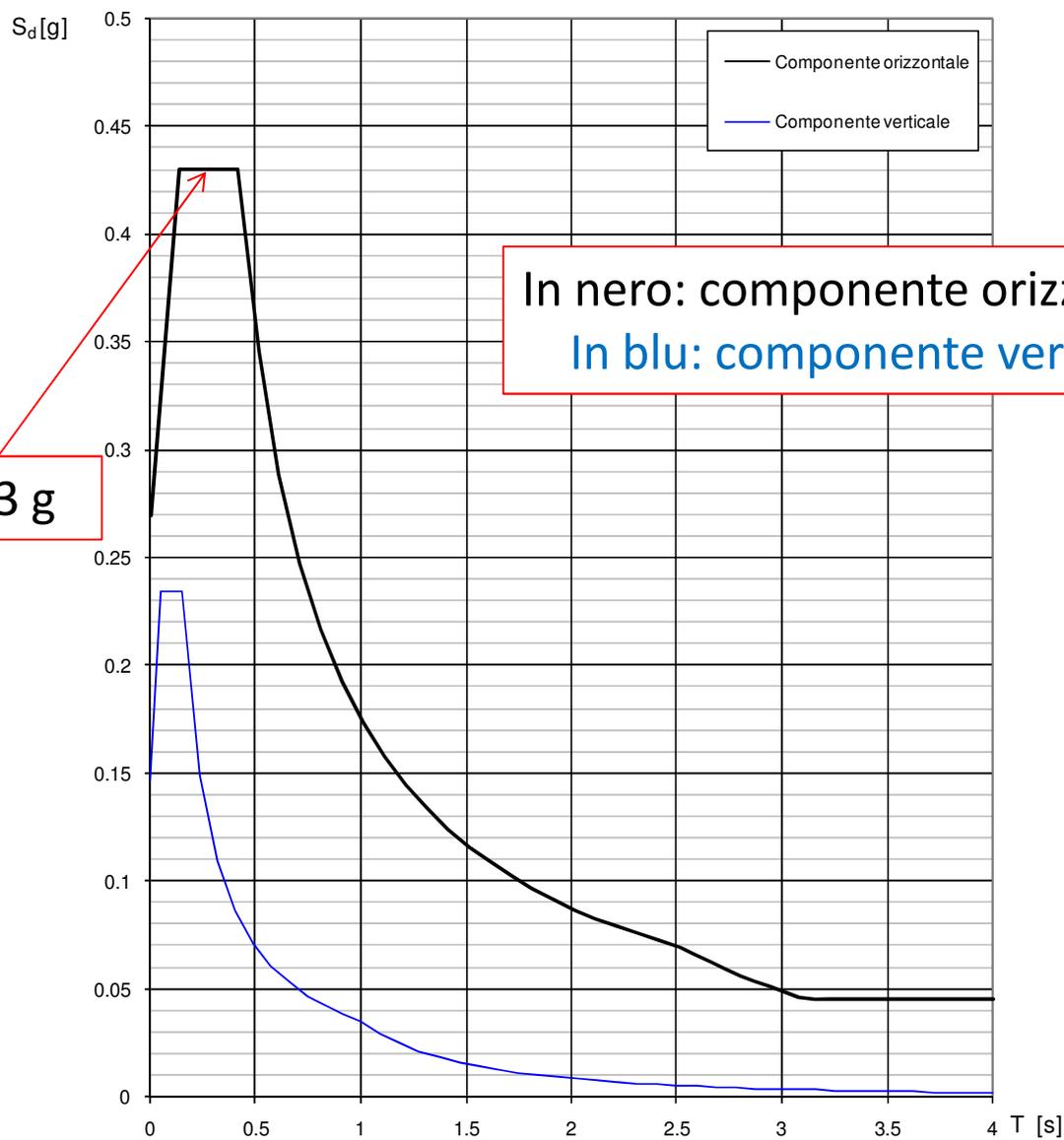
Spettri di risposta

The graph plots spectral acceleration  $S_d$  [g] on the y-axis (0.00 to 0.60) against period  $T$  [s] on the x-axis (0 to 4). Three curves are shown: a black line for the horizontal component, a blue line for the vertical component, and a red line for the reference elastic spectrum. The horizontal component peaks at approximately 0.43g at  $T \approx 0.2$  s. The vertical component peaks at approximately 0.23g at  $T \approx 0.2$  s. The reference elastic spectrum peaks at approximately 0.55g at  $T \approx 0.2$  s.

Component	Factor	$\eta$
Horizontal (SLU)	1,5	1,000
Vertical	1,5	0,667

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

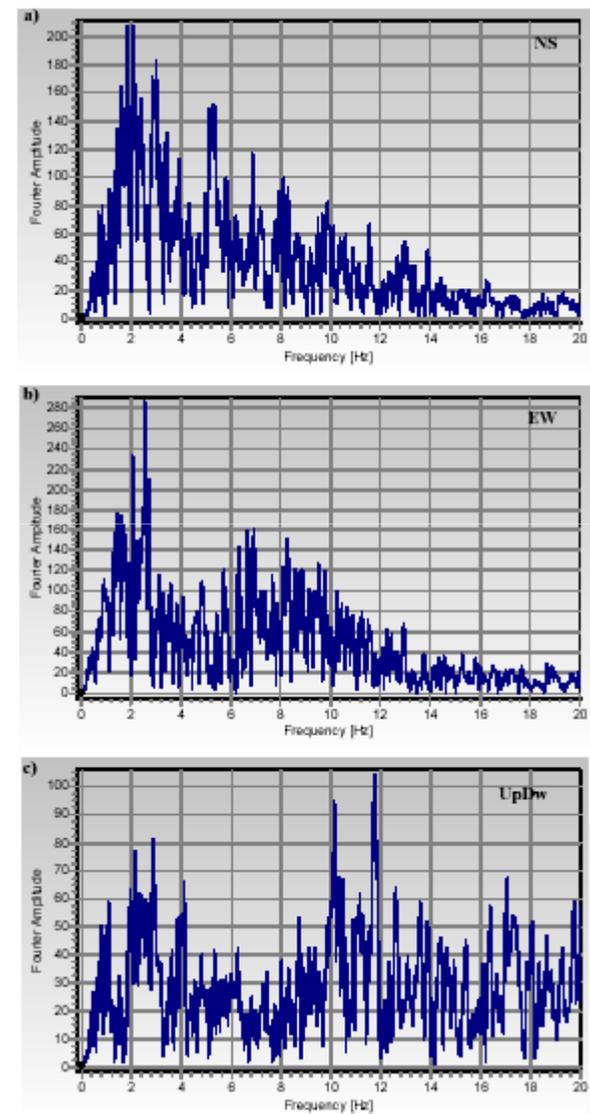
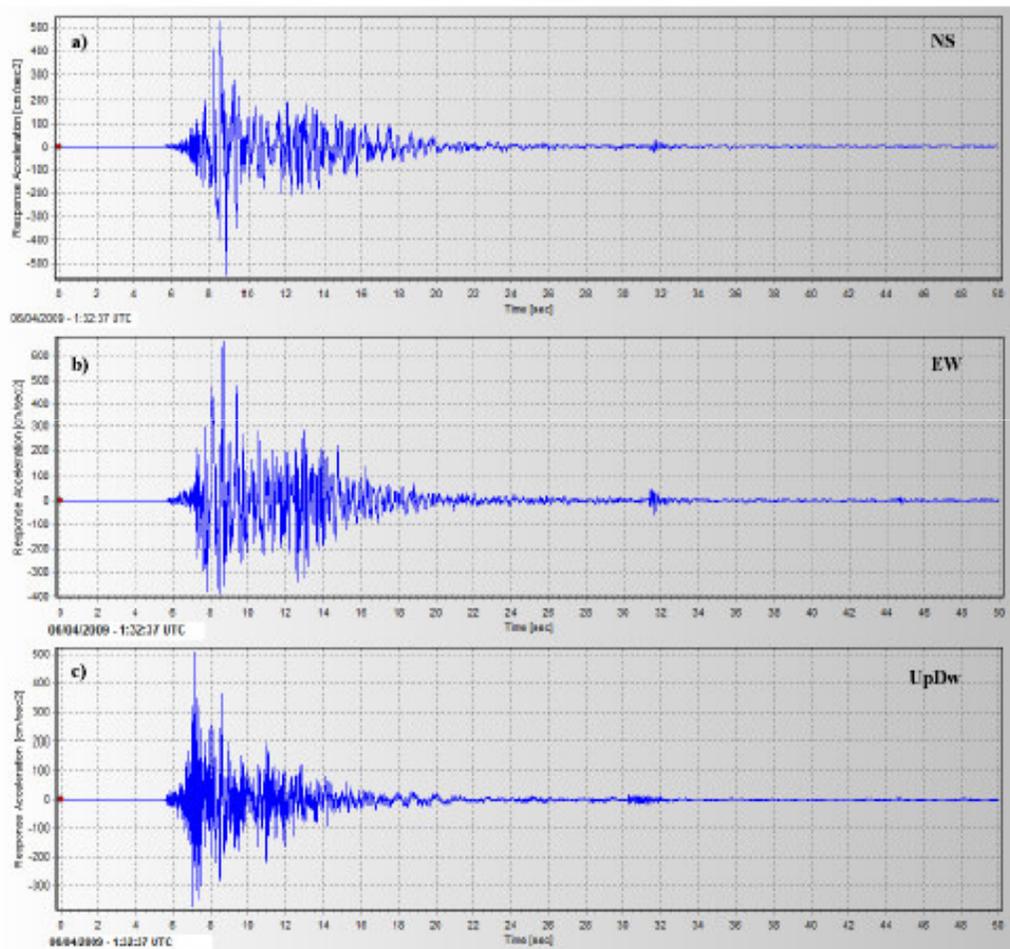
# Esempio di spettro di risposta determinato con l'uso del programma Spettri NTC (Ministero dei Lavori Pubblici)



Plateau a 0.43 g

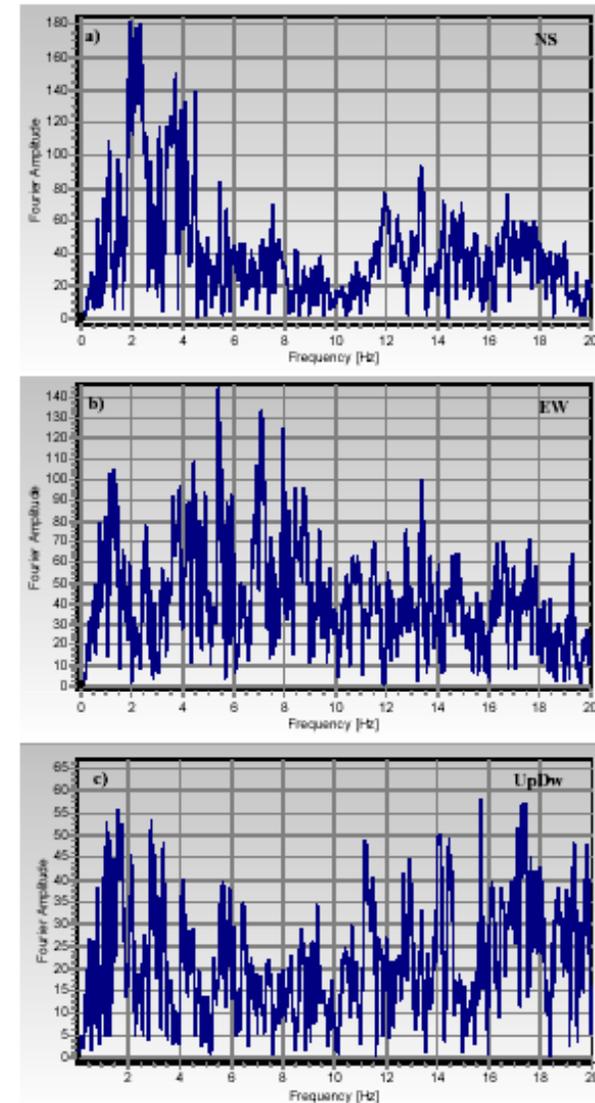
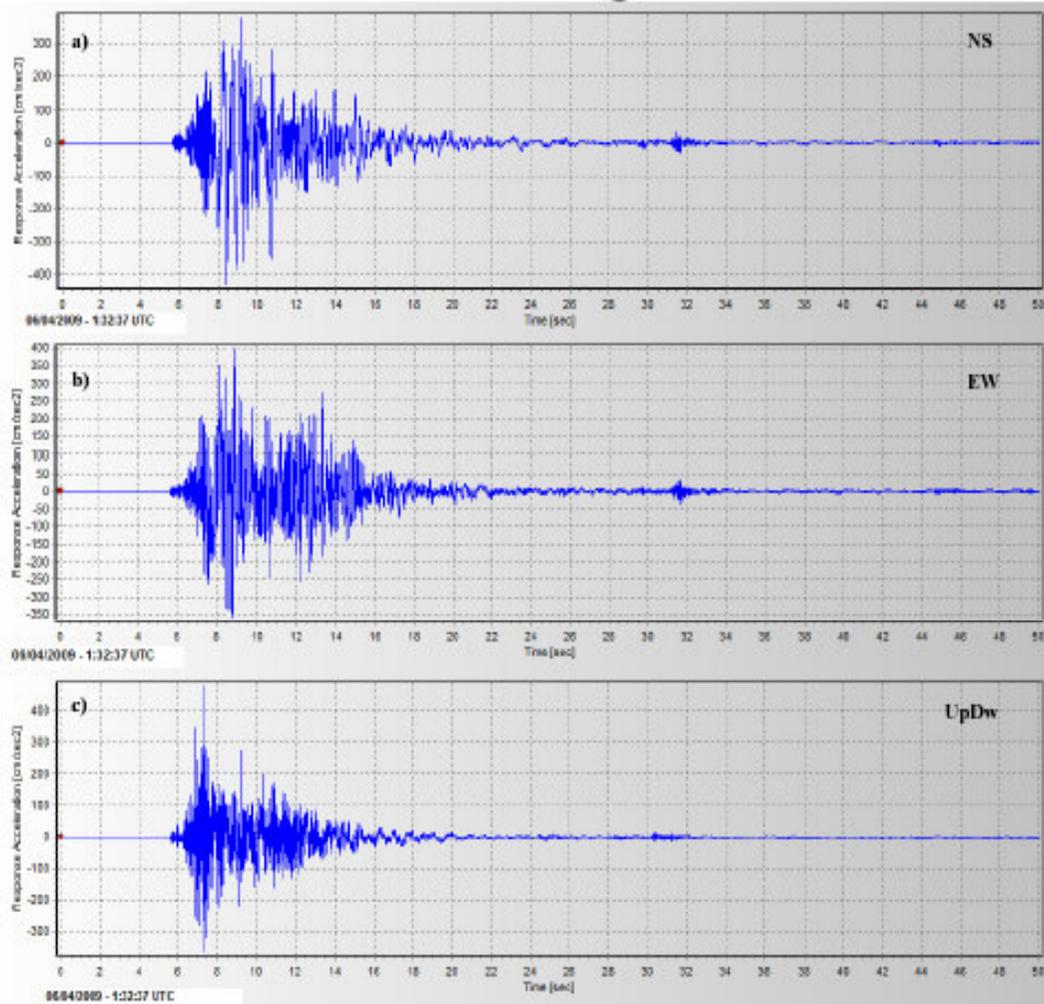
In nero: componente orizzontale  
In blu: componente verticale

# STAZIONE AQV



Fonte: report RELUIS aprile 09:UNISANNIO – CIMA - AMRA

## STAZIONE AQA



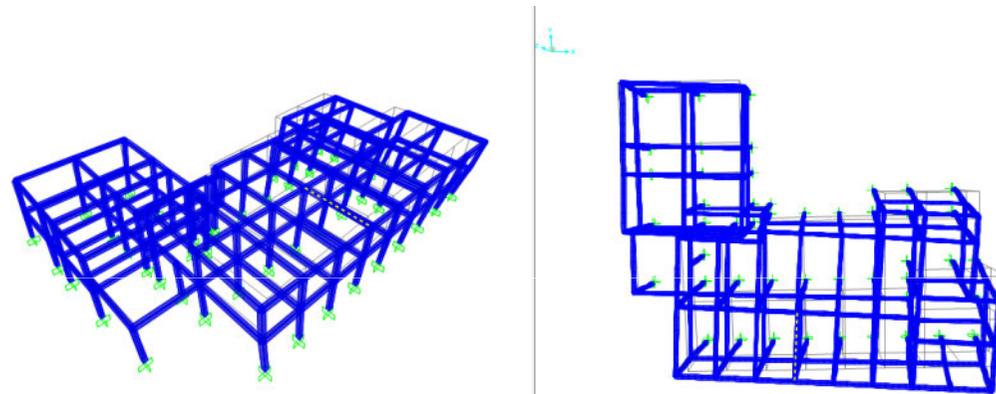
Fonte: report RELUIS aprile 09:UNISANNIO – CIMA - AMRA

Gli accelerogrammi possono essere **registrati naturalmente** (con accelerometri dislocati nel territorio) oppure “generati” da spettri di risposta; in quest’ultimo caso si dicono “**spettro-compatibili**”

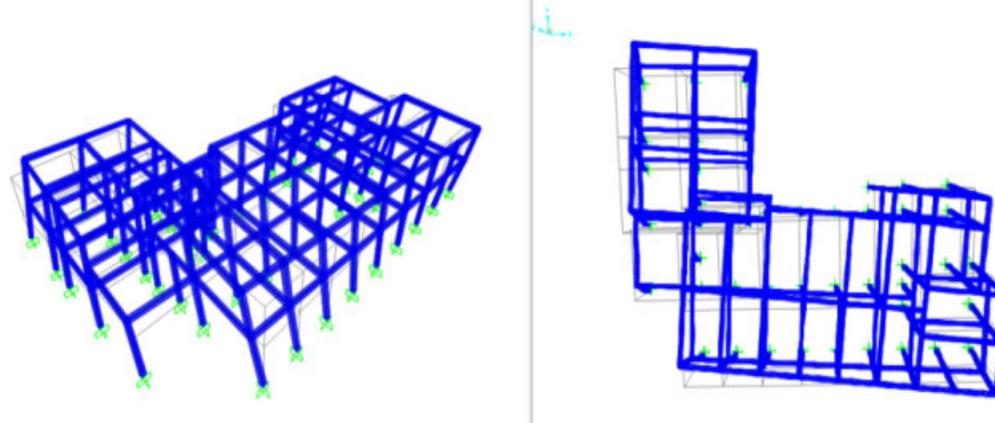
# Analisi dinamica lineare

---

L'analisi dinamica di un edificio parte dall'**analisi modale** (modi propri di vibrazione di una struttura) ciascuno avente una certa massa partecipante



Modo 1 -  $T=0.477$  sec (Y)



Modo 3 -  $T=0.417$  sec (torsionale)

# Analisi dinamica lineare

---

Ad ogni modo proprio di vibrare, cui corrisponde un periodo di vibrazione, corrisponde un'accelerazione di progetto (ottenibile dallo spettro di risposta).

Componendo le sollecitazioni (sforzi normali, tagli, momenti flettenti) in maniera opportuna si ottiene la configurazione di **sollecitazione** di progetto su cui fare le verifiche di resistenza

## Tecniche di adeguamento sismico di edifici esistenti in c.a. anni '60

---

- **proteggere dal ribaltamento** i singoli pannelli di tamponamento (es. tramite fasce di FRP);
  - **ridurre le masse sismiche sommitali** tramite demolizione e ricostruzione della copertura con (ad esempio) orditura metallica leggera;
  - **trasmettere le azioni sismiche** al piede del fabbricato tramite un sistema di controventi in fibre FRP disposti a croce di Sant'Andrea sui lati lunghi del fabbricato che raccolgano integralmente le azioni sismiche, così da sgravare completamente l'esistente orditura in c.a.;
-

## Tecniche di adeguamento sismico di edifici esistenti in c.a. anni '60

---

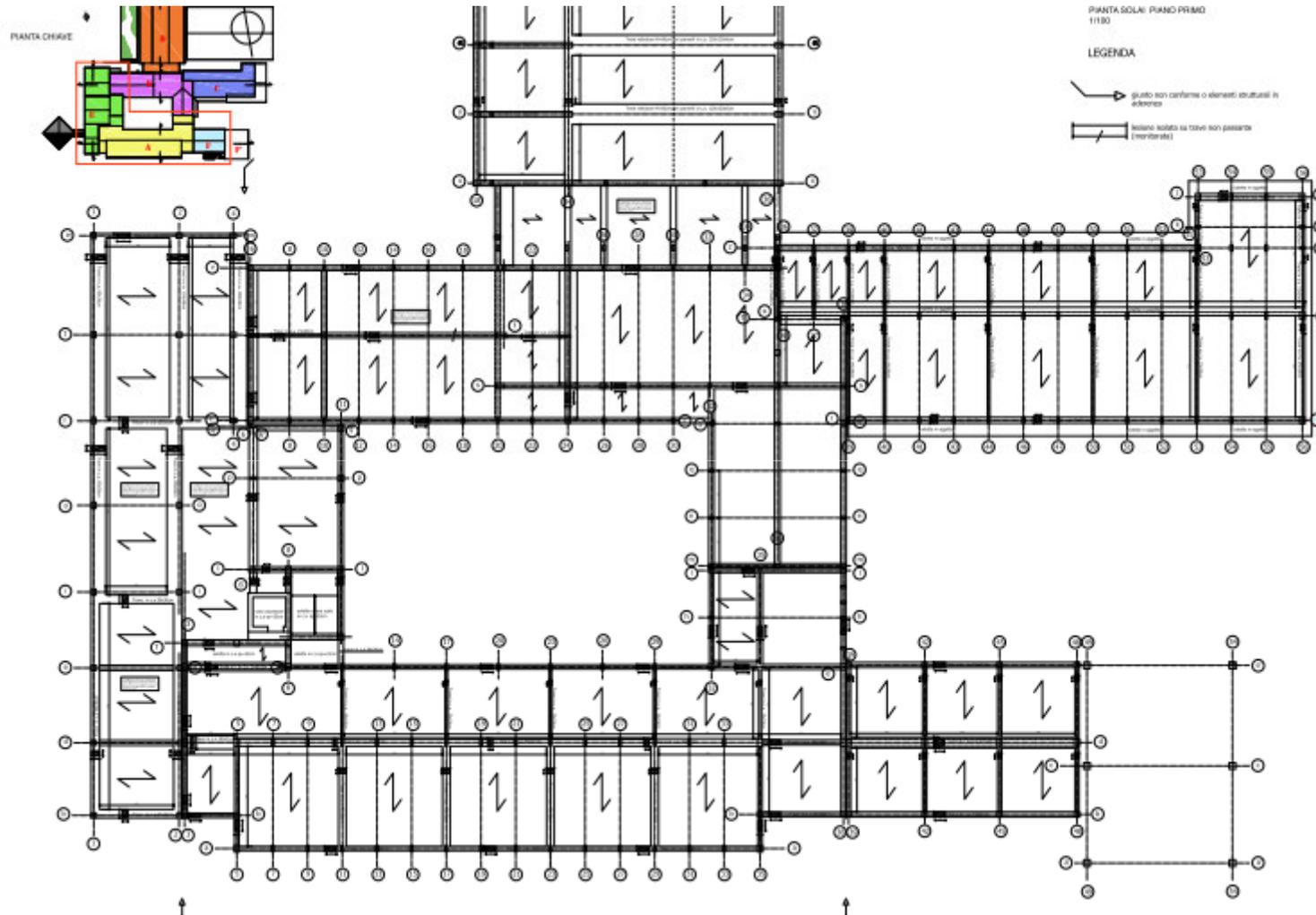
- **consolidare la fondazione esistente** mediante una serie di micropali tali da bypassare eventuali eterogenei strato compressibili superficiali;
  - **chiudere le irregolarità altimetriche** costituite dalle finestre a nastro sommitali e intermedie, altresì fonte di indebolimento per le forze di taglio orizzontali, con blocchi murari e con nuova trave cordolo sommitale;
  - **demolire eventuali aggetti in c.a. che aumentano inutilmente le masse sismiche;**
-

# Tecniche di adeguamento sismico di edifici esistenti in c.a. anni '60

---

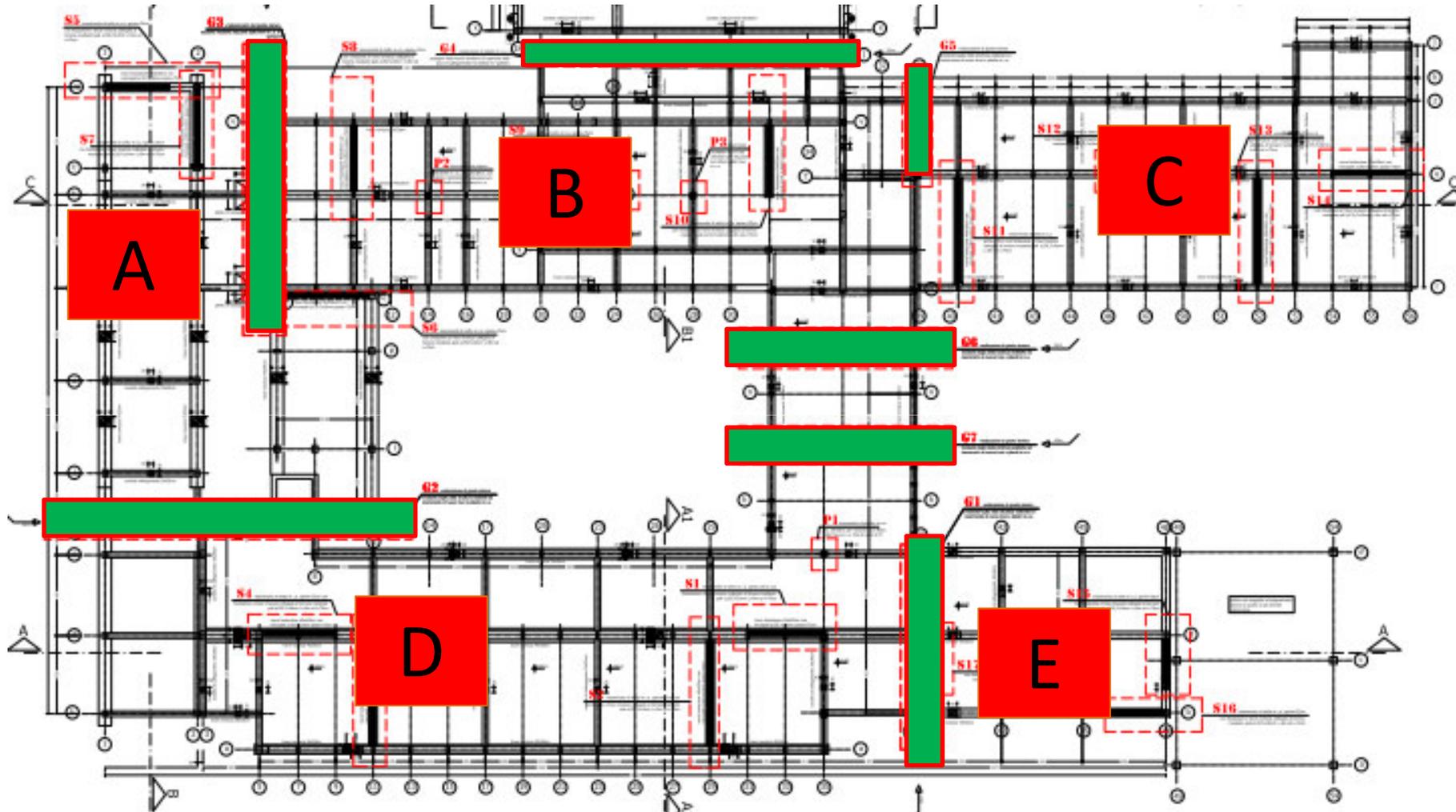
- Aumentare sezioni resistenti di travi e / o pilastri in punti localizzati  
(es. **consolidare le colonne in c.a. esistenti** ai carichi verticali e alle componenti assiali sismiche mediante piastre metalliche continue sui due lati corti delle colonne, solidarizzandole con barre passanti)
  - Aggiungere elementi resistenti rigidi in grado di assorbire l'azione sismica, sgravando gli elementi (travi e pilastri) più vulnerabili:
    - **Setti in c.a.** (più impattanti)
    - **Controventi metallici in acciaio** (se non si vuole snaturare la struttura)
-

# Uso di setti in c.a. per adeguamento/miglioramento sismico



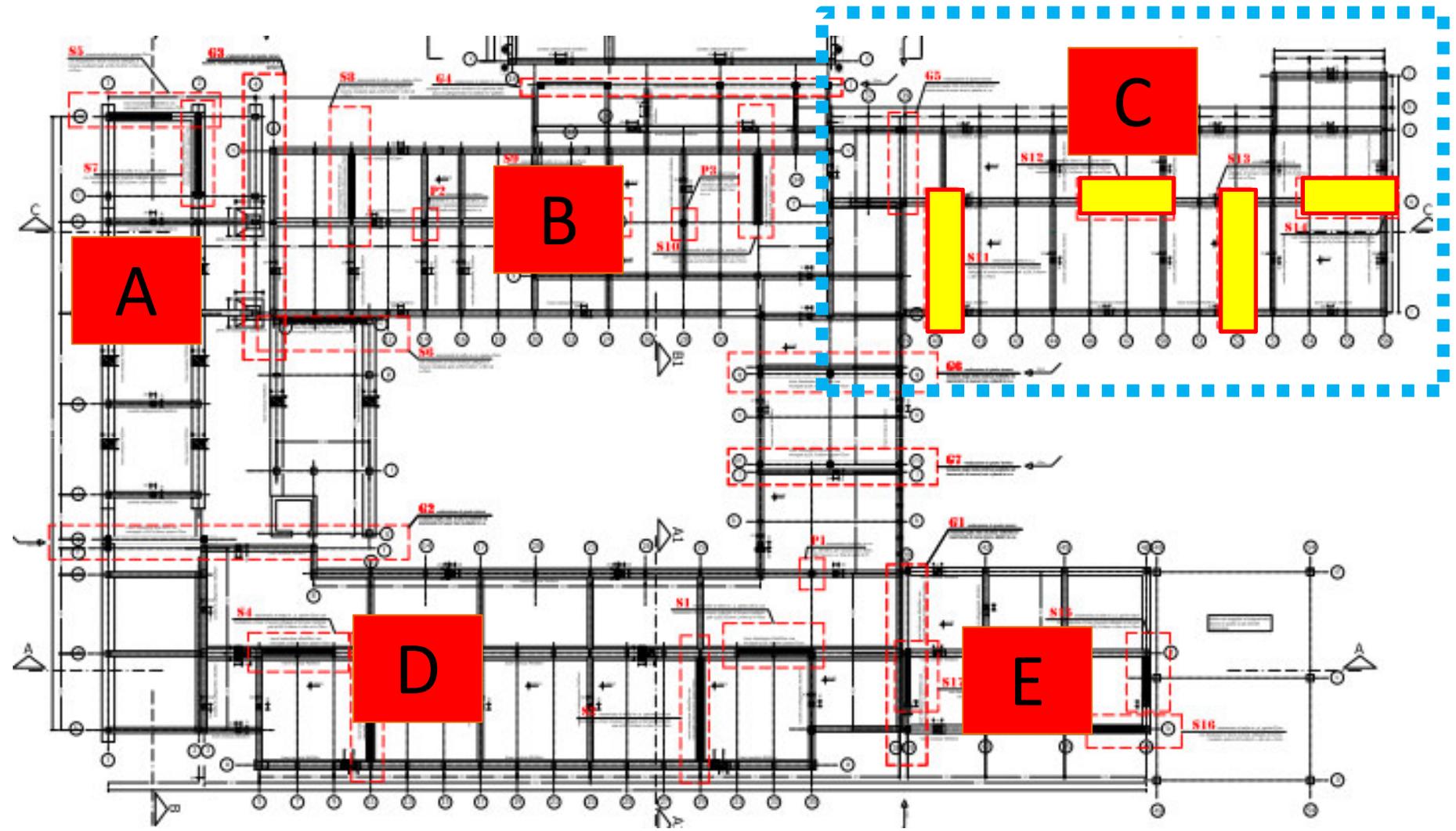
Edificio con pianta irregolare

# Uso di giunti per adeguamento/miglioramento sismico



Inserimento di GIUNTI SISMICI per ridursi ad unità strutturali “semplici”

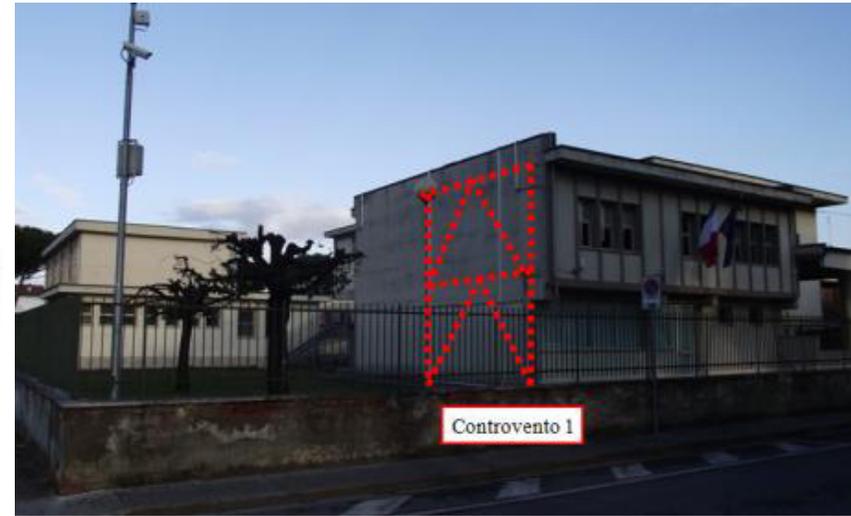
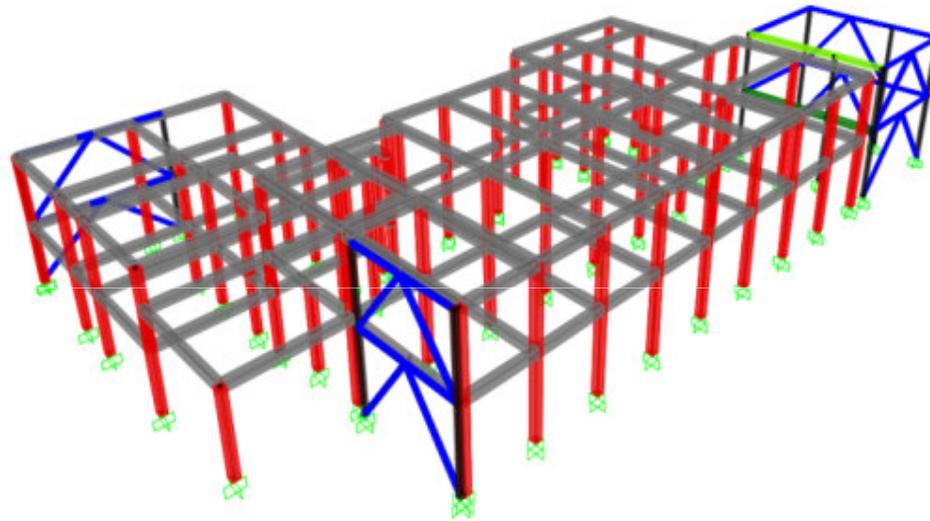
# Uso di setti in c.a. per adeguamento/miglioramento sismico



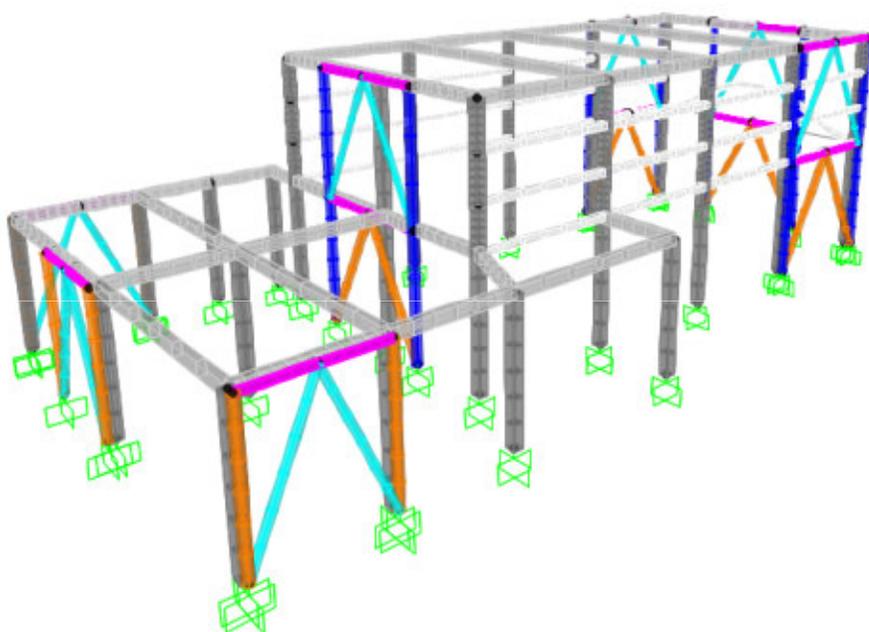
Inserimento di SETTI per raccogliere le azioni sismiche

# Controventi metallici

---

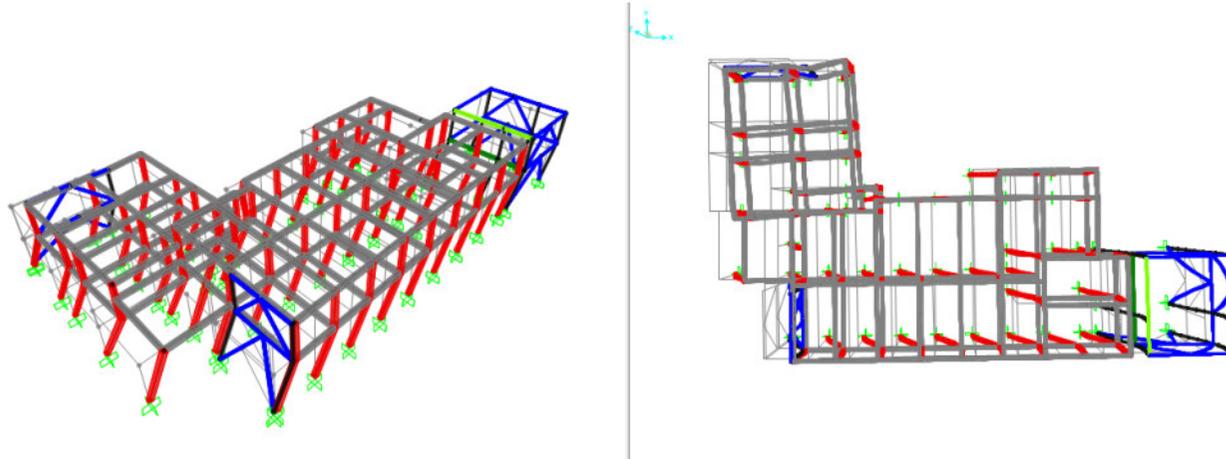


# Controventi metallici

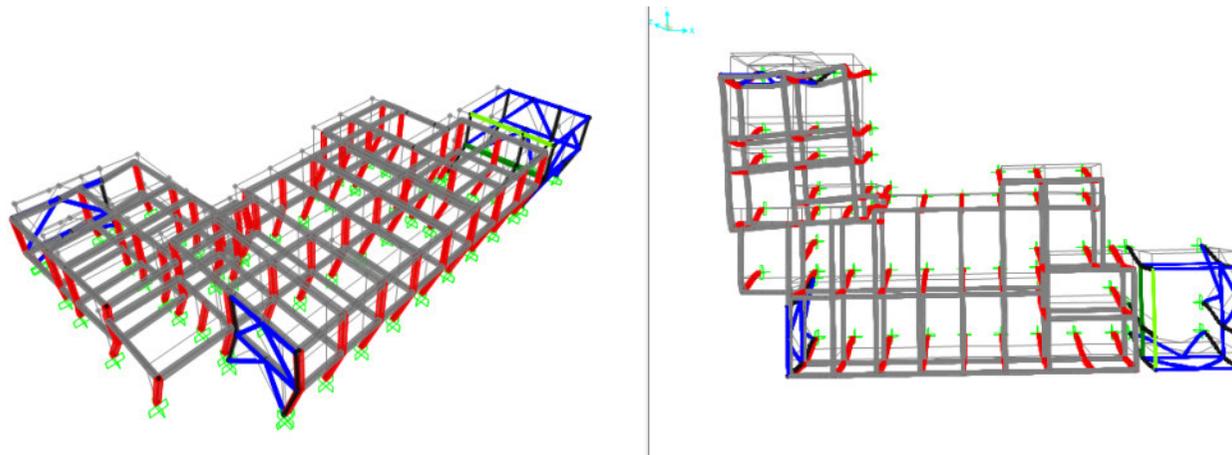


# Controventi metallici – analisi modale

---



**Modo 1 con controventi -  $T=0.296$  sec (X)**



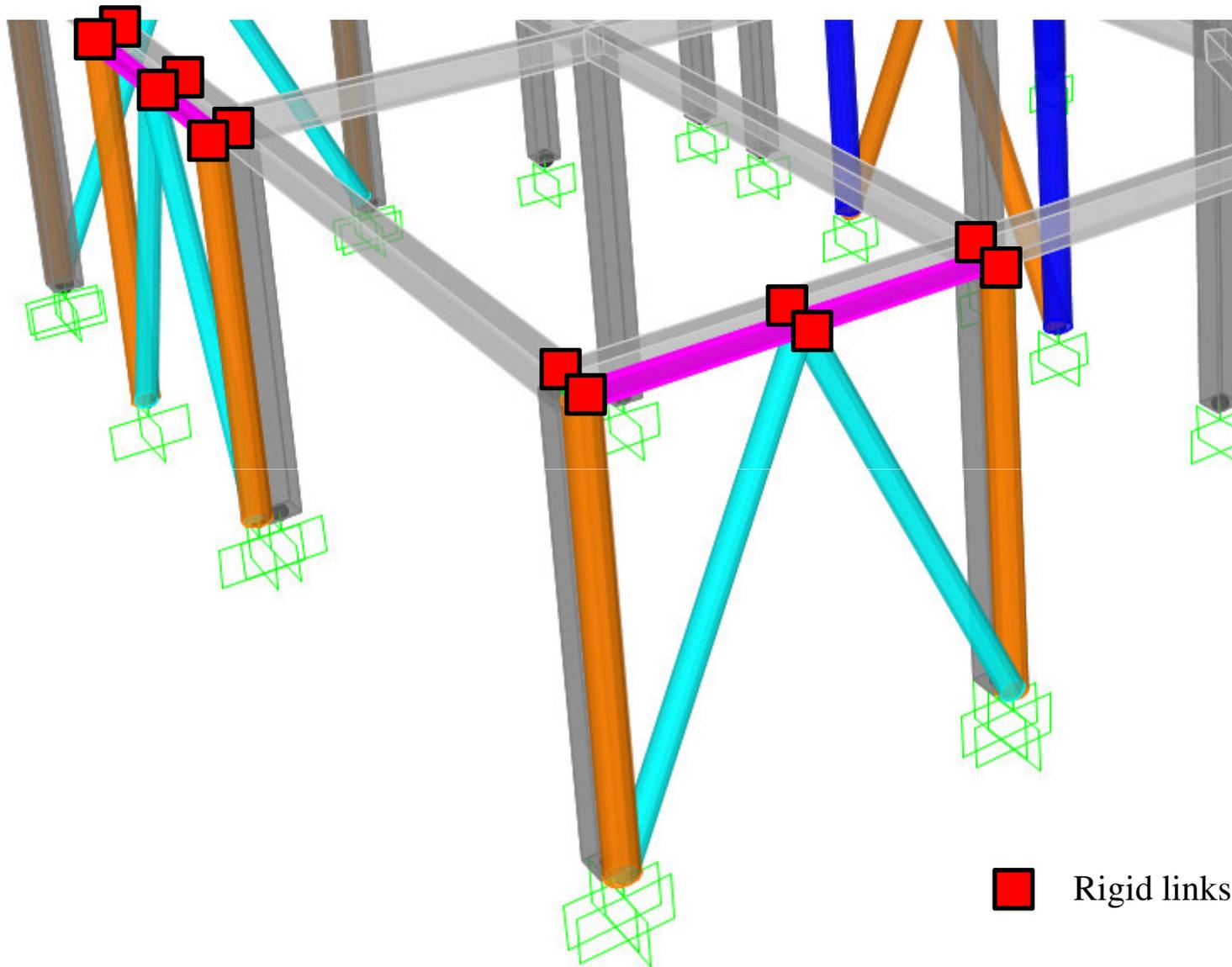
**Modo 2 con controventi -  $T=0.265$  sec (Y)**

---



# Controventi metallici – modellazione strutturale

---

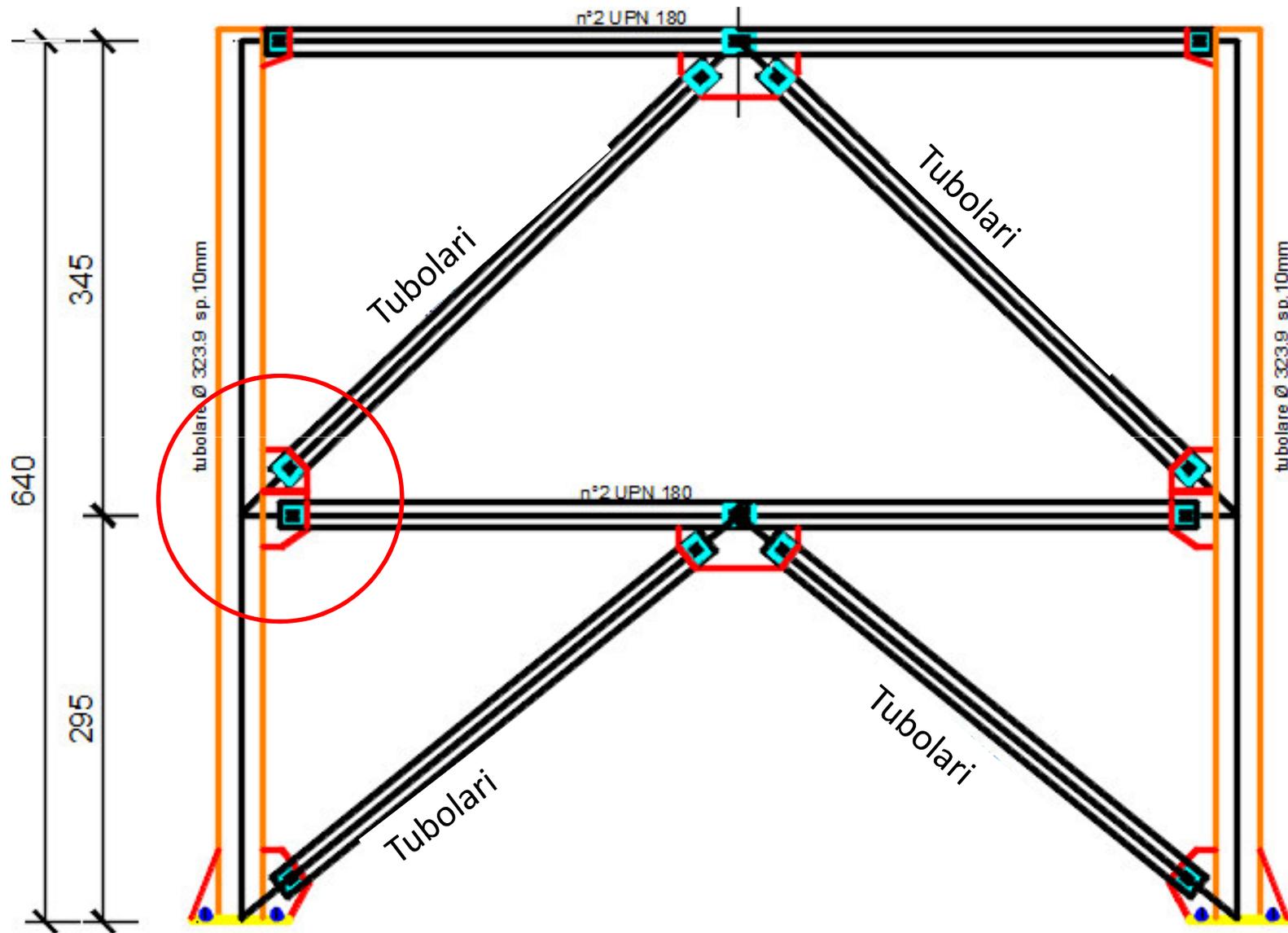


# Controventi metallici – scuola di Arcola (Liguria)

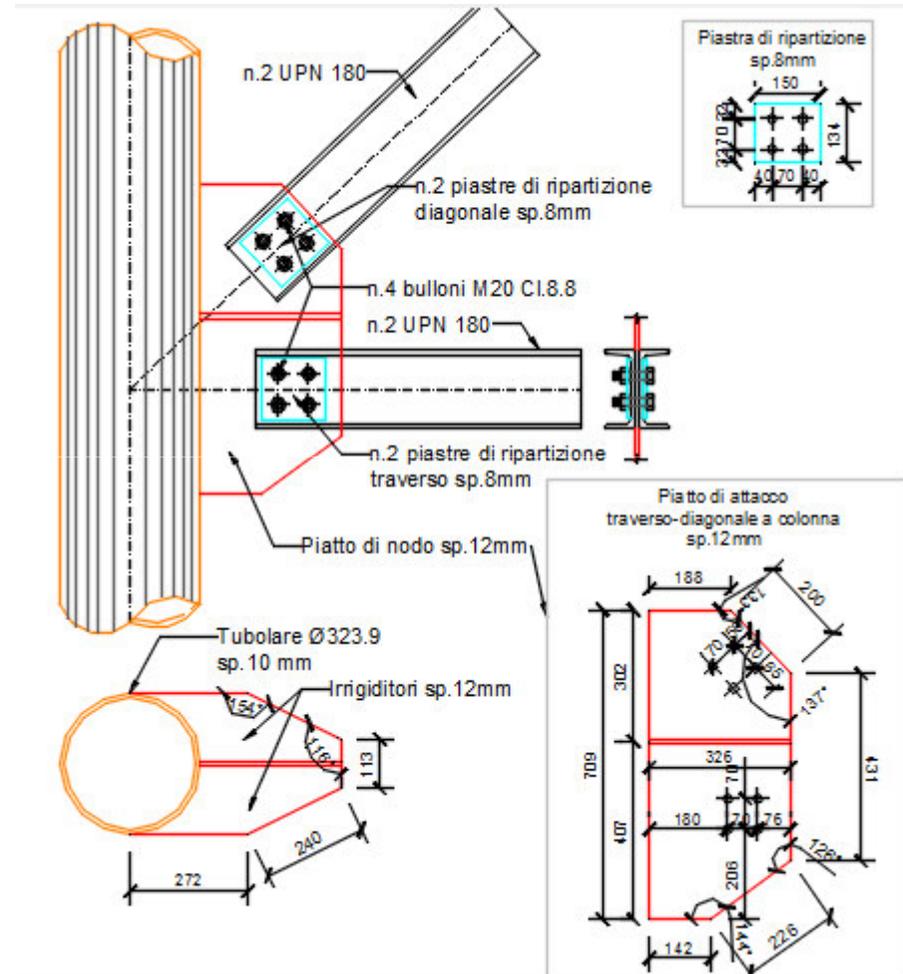
---



# Controventi metallici – esempio di collegamento



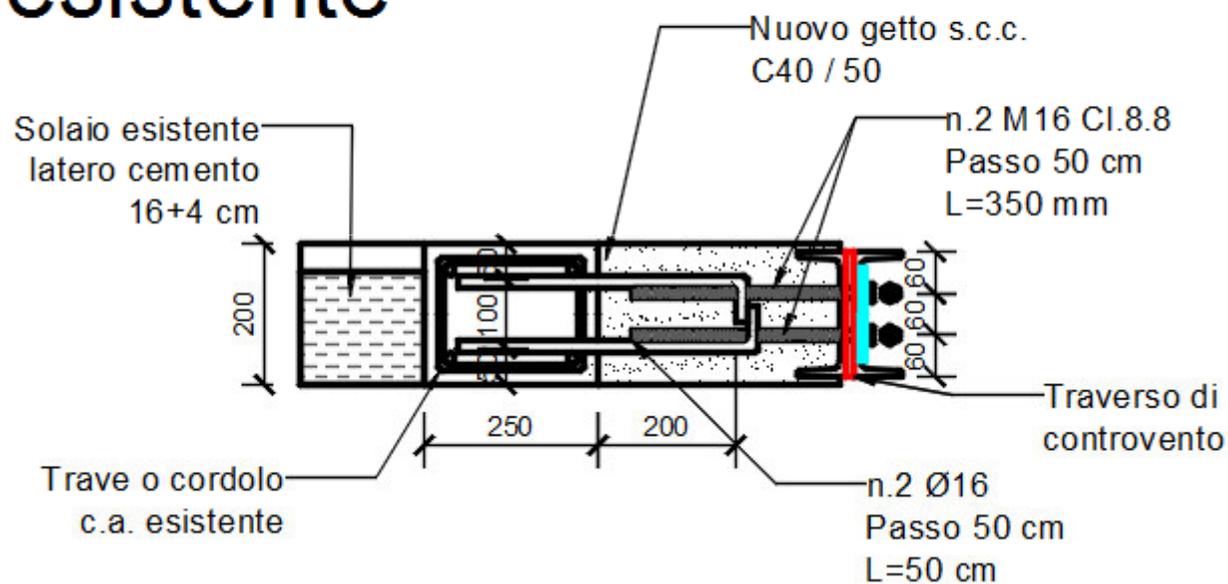
# Controventi metallici – esempio di collegamento



# Controventi metallici – esempi di collegamento

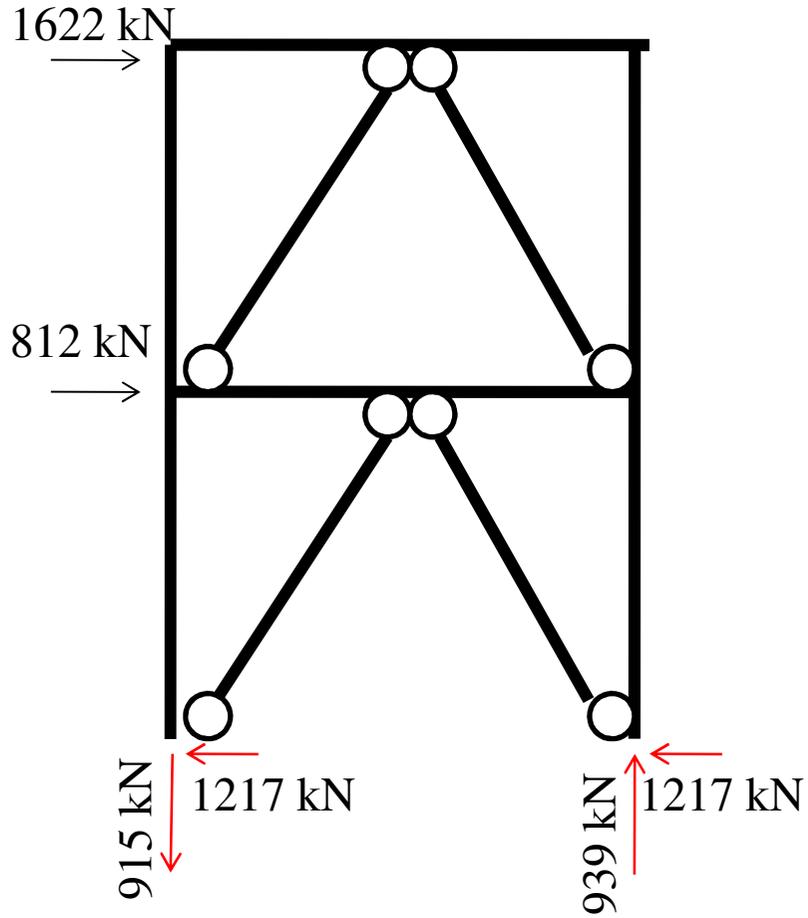
---

## Aggancio controvento-solaio esistente

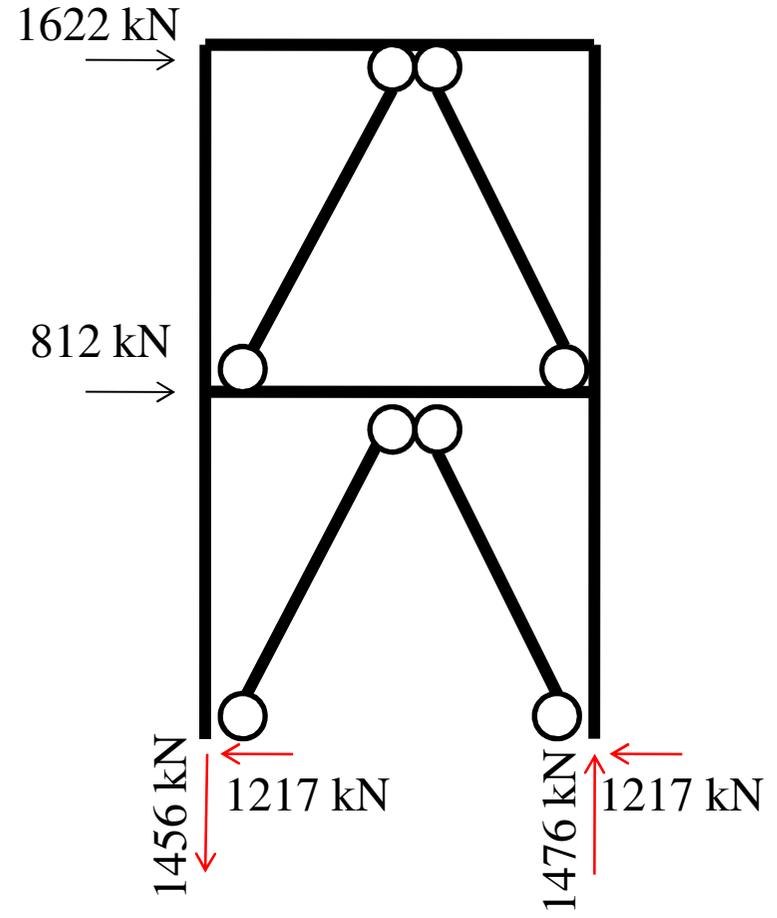


# Controventi metallici – azioni per progetto fondazione in micropali

---



controventi 1-3



controventi 2-4

---

# Controventi metallici – esempi di collegamento

