

Corsi di aggiornamento

Progettazione strutturale  
e Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

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

06 – Esame qualitativo della struttura

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

# Procedimento da seguire

1. Esame qualitativo della struttura
  - per individuarne i punti deboli
2. Valutazione preliminare delle caratteristiche di sollecitazione con procedimenti semplificati
3. Analisi lineare (modale con spettro di risposta):
  - fornisce caratteristiche di sollecitazione e spostamenti (che sono proporzionali ad  $a_g$ )
4. Analisi non lineare
  - giudizio in termini di sollecitazioni e spostamenti
5. Influenza delle incertezze
  - dare un giusto peso alle incertezze per arrivare ad un valore numerico affidabile

# Procedimento da seguire

## 1 – esame qualitativo

### 1. Esame qualitativo della struttura

Consente di individuarne i principali punti di debolezza. Ad esempio:

- Presenza di una direzione particolarmente debole, perché sostanzialmente priva di travi emergenti
- Presenza di pilastri molto deboli rispetto alle travi, che potrebbero portare a meccanismi di collasso di piano
- Forti dissimmetrie che potrebbero portare a comportamenti rotazionali pericolosi
- Elementi che possono portare a sollecitazioni localizzate molto forti (scale, ecc.)

# Esame qualitativo della struttura

- individuazione degli elementi principali
  - analisi della loro distribuzione in pianta
  - giudizio sul comportamento nelle due direzioni e sul comportamento rotazionale
  - analisi della loro distribuzione in altezza

# Esame qualitativo della struttura

- individuazione di possibili debolezze o irregolarità
  - la struttura ha uguale rigidezza e resistenza nelle due direzioni?
  - i pilastri sono più o meno resistenti delle travi?
  - la distribuzione degli elementi strutturali garantisce una buona regolarità in pianta e in altezza?
  - l'impalcato è compatto e rigido oppure no?
  - gli elementi non strutturali (tamponature, ecc.) sono di aiuto o irrilevanti, oppure danno problemi?
  - la tipologia della scala crea concentrazione di rigidezza o irregolarità planimetrica?

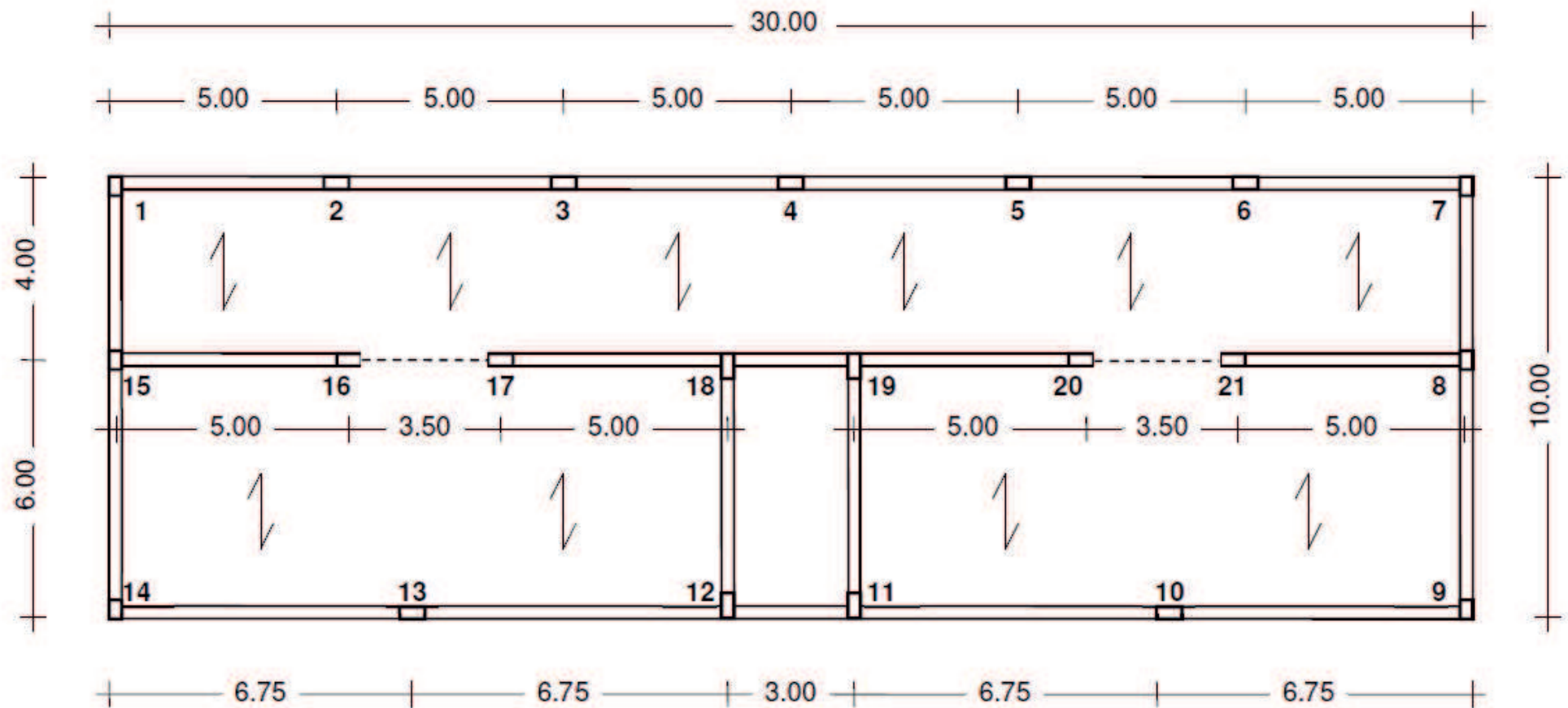
# 1. Esempio emblematico

non corrispondente a un caso reale

- Edificio a 8 piani destinato ad abitazione
  - Tipologia tipica degli anni '70
  - Progettato per soli carichi verticali
  - Caratteristiche del calcestruzzo inferiori rispetto a quanto usualmente previsto nei calcoli per edifici dell'epoca, ma non eccessivamente scadenti

A questo esempio (e ad un altro analogo) si riferiscono una serie di elaborazioni numeriche che verranno presentate nel corso

# Carpenteria del piano tipo



Carpenteria del piano tipo

# Valutazione qualitativa

Contro:

- la direzione y è molto debole, perché vi sono solo i telai perimetrali e (parzialmente) quelli della scala
- le tamponature possono dare un aiuto ma possono anche portare a concentrazione di sollecitazioni, specie in direzione y
- le abitudini costruttive dell'epoca hanno portato a pilastri deboli rispetto alle travi
- le abitudini costruttive dell'epoca spesso non curavano la staffatura dei pilastri, favorendone il collasso fragile



## 2. Edificio a Pedara (CT)

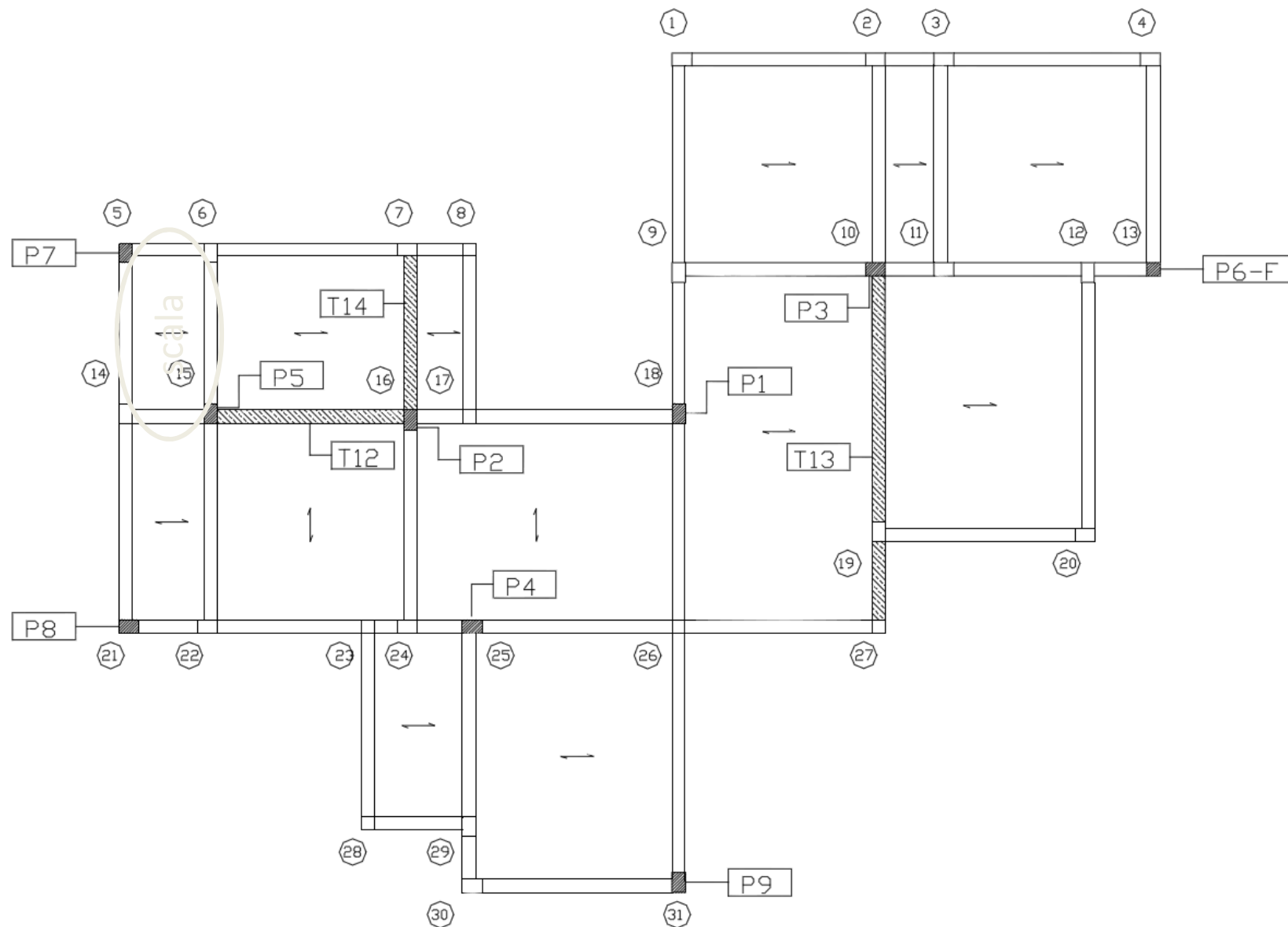
(esempio reale)

- Scuola materna edificata negli anni '60
  - Progettata per azioni sismiche secondo la legge del 1962 (anche se la zona non era sismica)
  - Esaminata nel 2003 per conto dell'Università di Catania



# Carpenteria primo impalcato

(copertura piano terra)





# Valutazione qualitativa

## da ispezione sommaria

### Pro:

- progetto antisismico, anche se datato
- numero di piani molto basso
- sezioni dei pilastri abbondanti (principalmente 40×60, alcuni 40×40)

### Contro:

- irregolarità planimetrica, dovuta alla ubicazione eccentrica del piano superiore (di modesto sviluppo) e della scala

# Cosa è risultato

da un'analisi approfondita

- Progetto molto semplificato (calcolo di un solo telaio, come esemplificativo di tutta la struttura)
- Calcestruzzo scadente in fondazione, realizzata da una prima impresa, ma decente ( $R_{cm}=25$  MPa) per il resto, realizzato da un'altra impresa
- Armature nei pilastri molto basse (4 barre  $\varnothing 16$  o  $\varnothing 20$ ), staffe  $\varnothing 6$  o  $\varnothing 8/20$  (assenti nei nodi)

# Cosa è risultato

## da un'analisi approfondita

- Analisi svolta:
  - lineare
- Giudizio:
  - la struttura può portare circa il 50% del sisma previsto nella zona
  - il suo difetto sostanziale sta nella carenza di armatura longitudinale e trasversale nei pilastri (e nell'assenza di staffe nei nodi)

### 3. Scuola ad Augusta (SR) (esempio reale)

- Edificio con un piano interrato e due piani in elevazione classificata in zona sismica

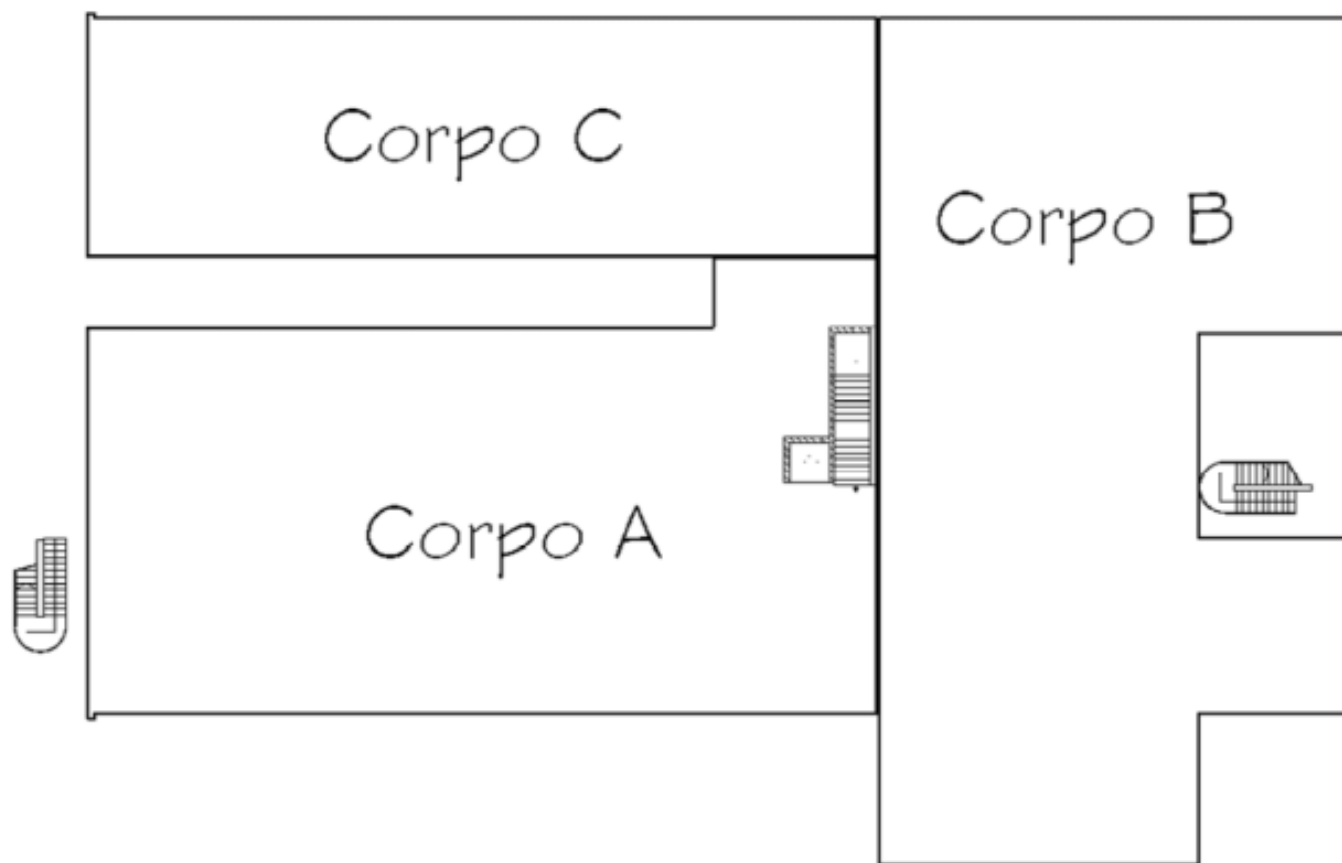


# Scuola ad Augusta (SR)

- Edificio con un piano interrato e due piani in elevazione
  - realizzato negli anni '80, quando Augusta era già classificata in zona sismica
  - nel 2009, in occasione di interventi di manutenzione, si è riscontrata una caratteristica del calcestruzzo nettamente inferiore a quanto aspettato
  - ci si è affidati nel 2010 al DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Catania) per valutarne la effettiva vulnerabilità

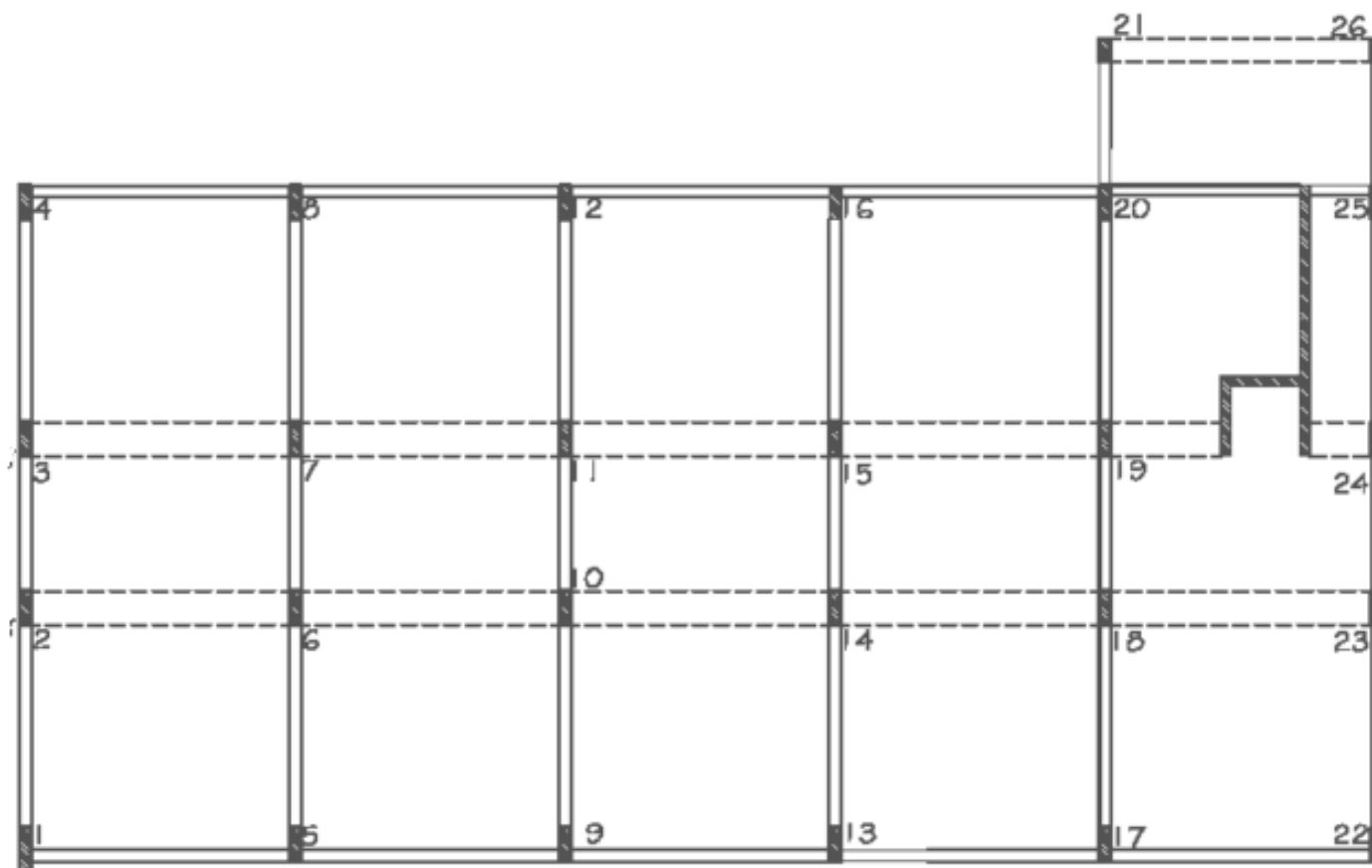


# Planimetria generale



# Carpenteria

## corpo A – primo piano fuori terra



# Valutazione qualitativa

## Pro:

- progetto antisismico, anche se datato
- sezioni dei pilastri abbondanti con (sulla carta) buona armatura longitudinale e staffe

## Contro:

- concezione non idonea, perché presenta forte differenza di rigidezza nelle due direzioni
- presenza di pareti anche dissimmetriche, sicuramente non prese in considerazione nel calcolo

# Cosa è risultato

da un'analisi approfondita

- Modeste discordanze nelle armature dei pilastri
- Sensibile differenza nelle staffe (singola e non doppia staffa, quindi 2 bracci e non 4 nella direzione debole)

# Cosa è risultato

## da un'analisi approfondita

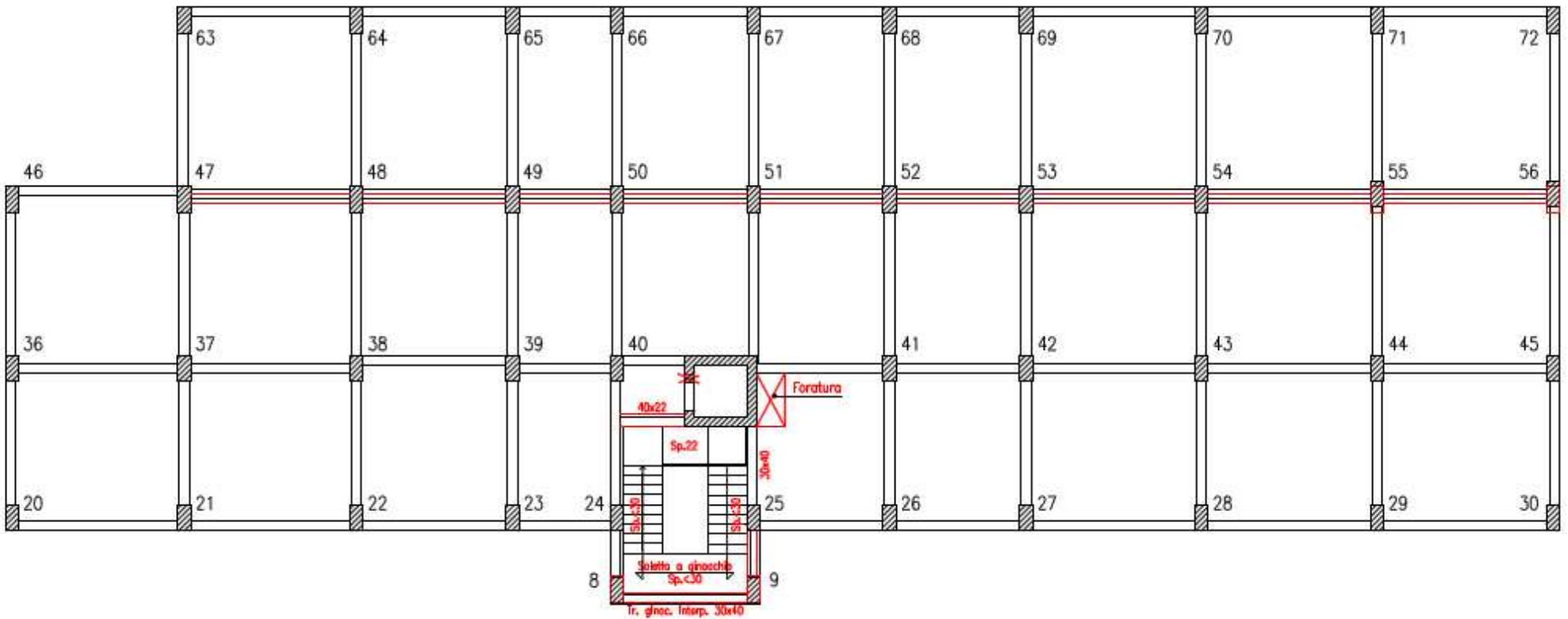
- Analisi svolta:
  - lineare semplificata per un primo giudizio
  - sia lineare che non lineare per un giudizio più approfondito
- Giudizio:
  - la struttura può portare tra il 25% e il 40% del sisma previsto nella zona
  - il suo difetto sostanziale sta nella carenza di staffe nei pilastri; le pareti dissimmetriche portano ad un comportamento fortemente non regolare ma non sono la causa principale di carenza della struttura

## 4. Edificio progettato secondo le NTC08 (esempio reale)

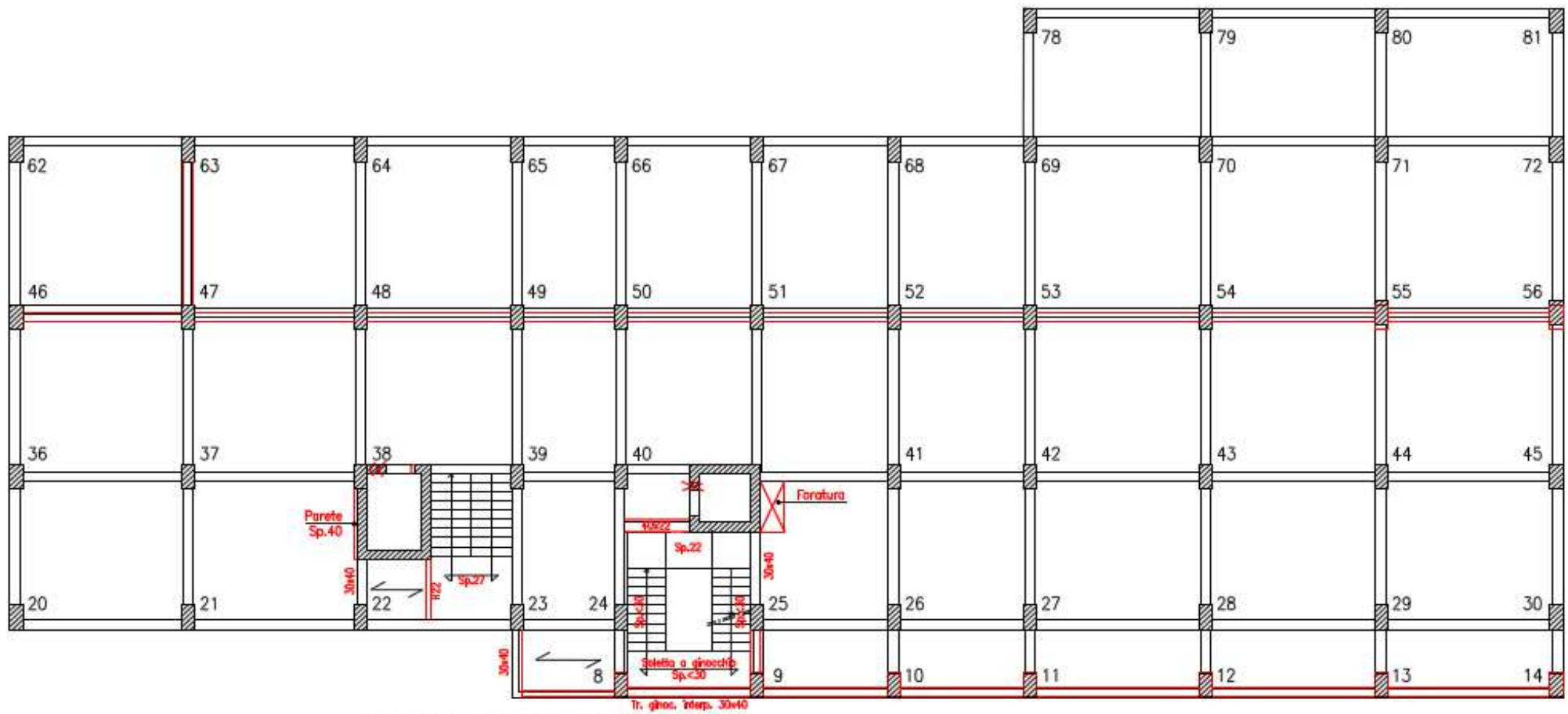
- Edificio a sei impalcati
  - progettato secondo le NTC08 e realizzato nel periodo da aprile 2010 a marzo 2011
  - nel 2013 è stato oggetto di un intervento di variante consistente nell'ampliamento dell'impalcato al quarto livello
  - rilevate difformità tra progetto ed esecuzione
  - necessità di valutarne la effettiva vulnerabilità

# Impalcato 5

- I pilastri, rettangolari, sono orientati tutti nella stessa direzione



# Impalcato 3

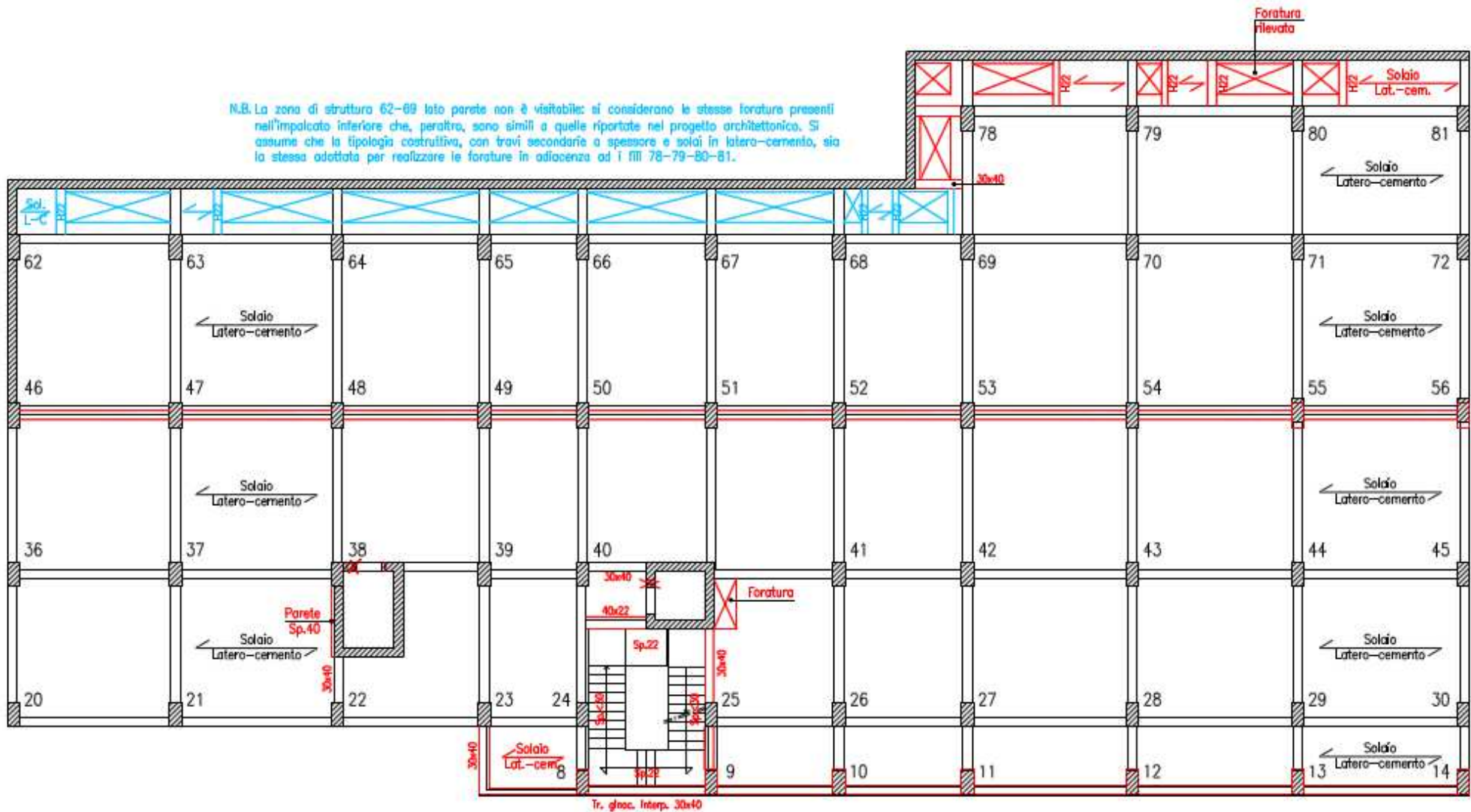


N.B. Strutture vano scala C2 e ascensore C2 coperte da finiture.

- Scale e vani ascensore costituiscono un irrigidimento non centrato, non ben valutato nel calcolo

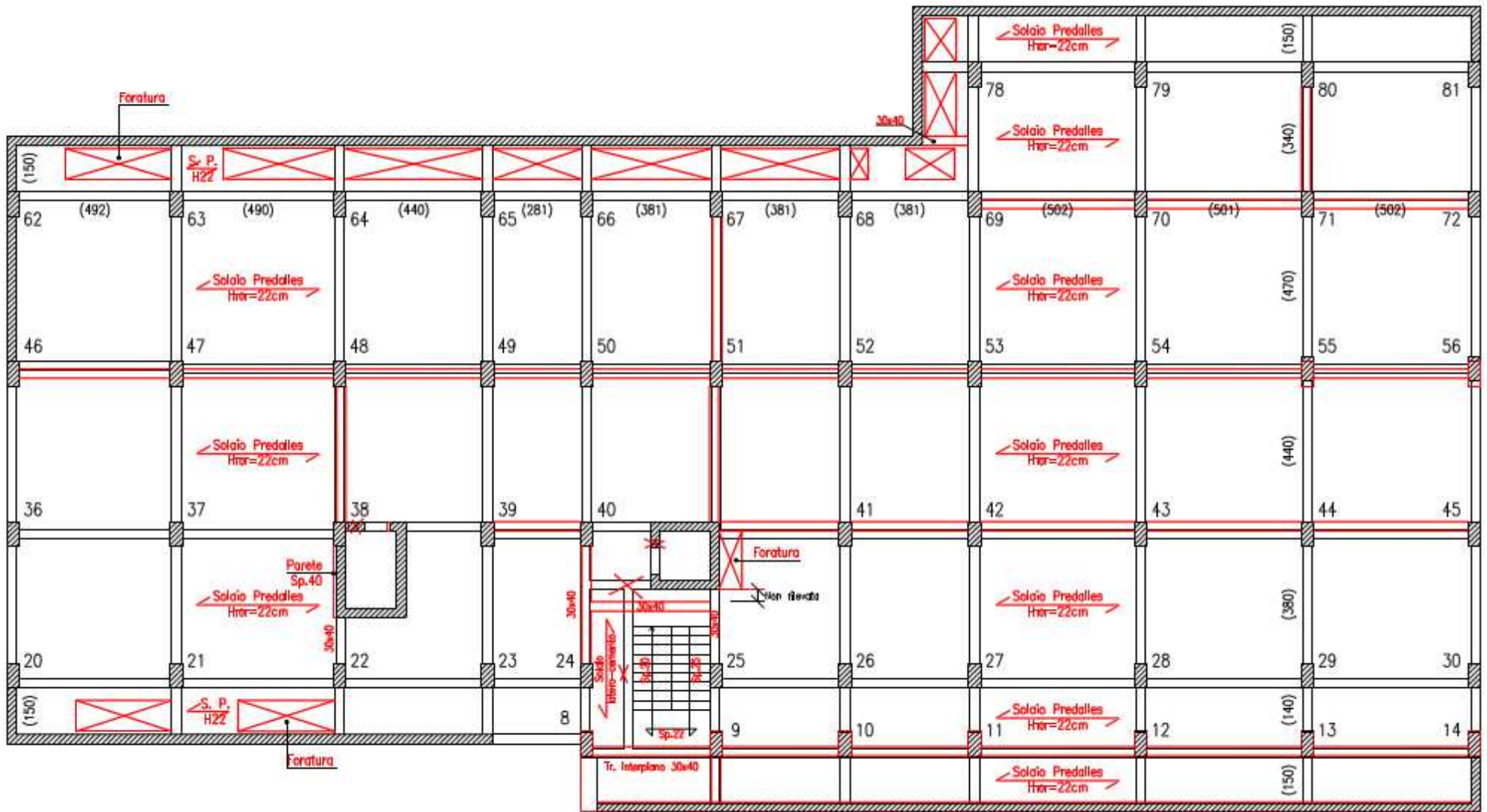


# Impalcato 2



- Al secondo piano è presente una parete su un solo lato

# Impalcato 1



- Al primo piano sono presenti pareti su due lati

# Valutazione qualitativa

Pro:

- i particolari costruttivi garantiscono tutte le gerarchie richieste e quindi un comportamento duttile ed un collasso globale

Contro:

- le pareti, i nuclei ascensore e le scale, dissimmetrici, creano forti problemi rotazionale e fanno classificare la struttura come torsionalmente deformabile

# Cosa è risultato

## da un'analisi approfondita

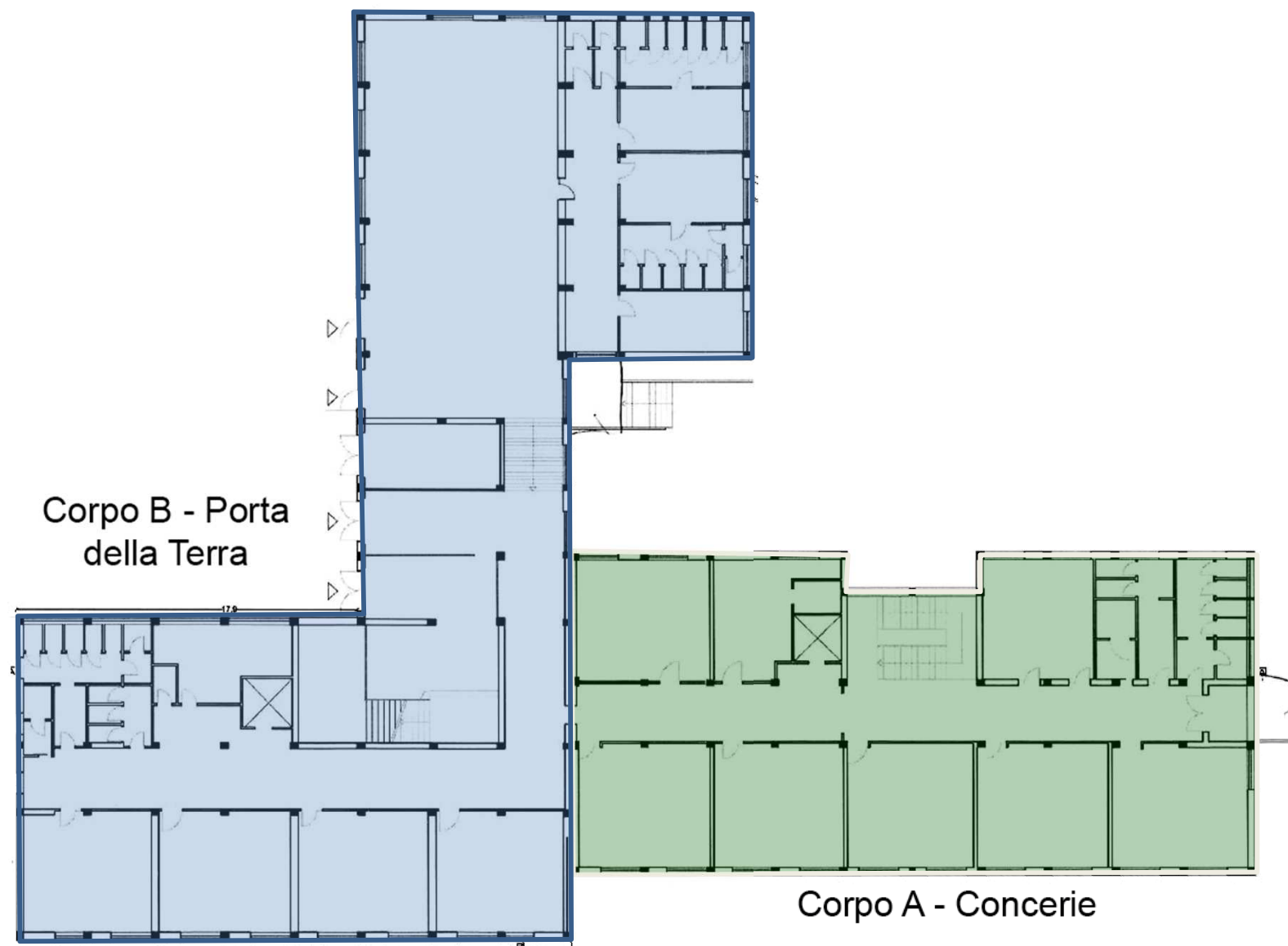
- Analisi svolta:
  - sia lineare che non lineare per un giudizio più approfondito
- Giudizio:
  - la struttura ha un pessimo comportamento, perché irregolare planimetricamente e torsionalmente debole
  - il fatto che la struttura sia stata progettata nel rispetto delle indicazioni di dettaglio delle NTC e della gerarchia delle resistenze le conferisce comunque una resistenza al sisma non scadente

## 5. Edificio a Militello in Val di Catania

(esempio reale)

- Due corpi di fabbrica, edificio scolastico fino al 2010, ora usato come edificio comunale
  - progettato e realizzato intorno al 1970
  - dichiarato in via cautelativa inagibile nel 2010
  - andata via la scuola, utilizzato come edificio comunale (ma senza un decreto che annullasse l'inagibilità)
  - ci si è affidati nel 2015 al DICAR (Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Catania) per valutarne la effettiva vulnerabilità

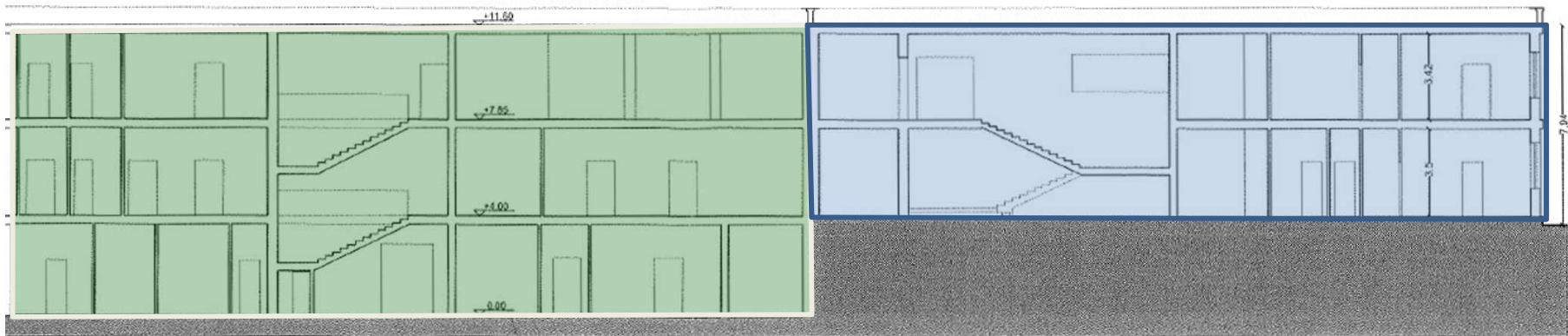
# Planimetria generale



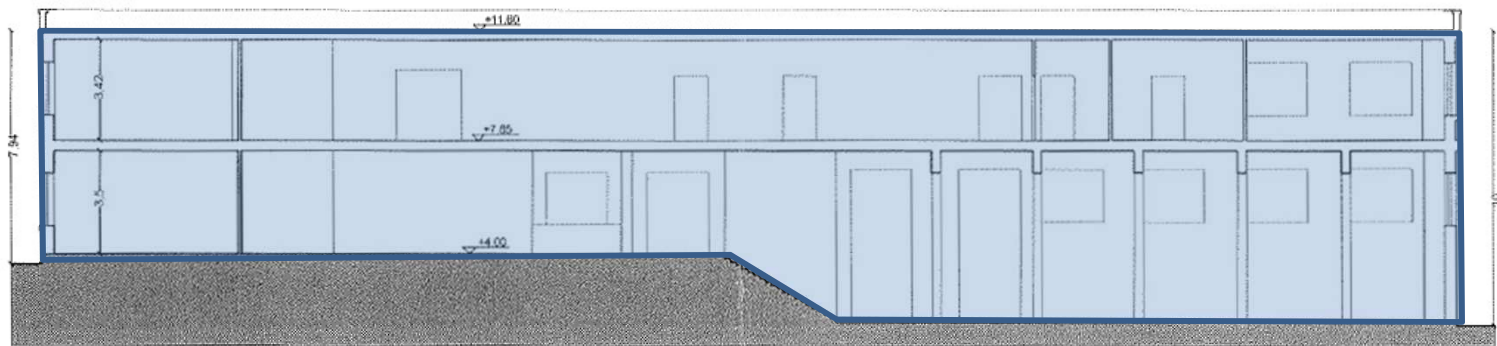
# Sezioni longitudinali

Corpo A

Corpo B

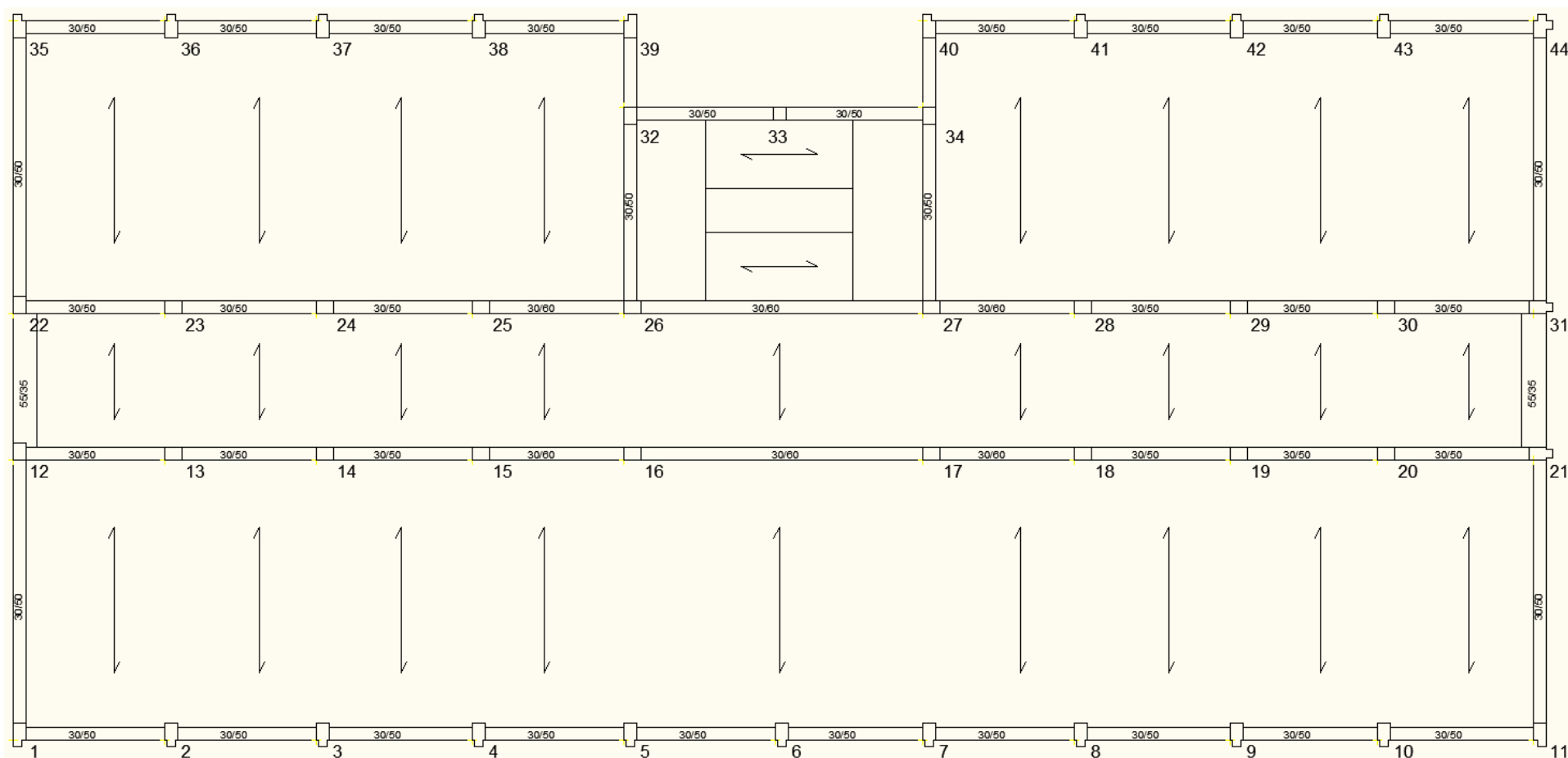


Corpo B



Nota: corpo A e corpo B hanno lo stesso piano di posa

# Carpenteria corpo A





# Valutazione qualitativa

corpo A

Pro:

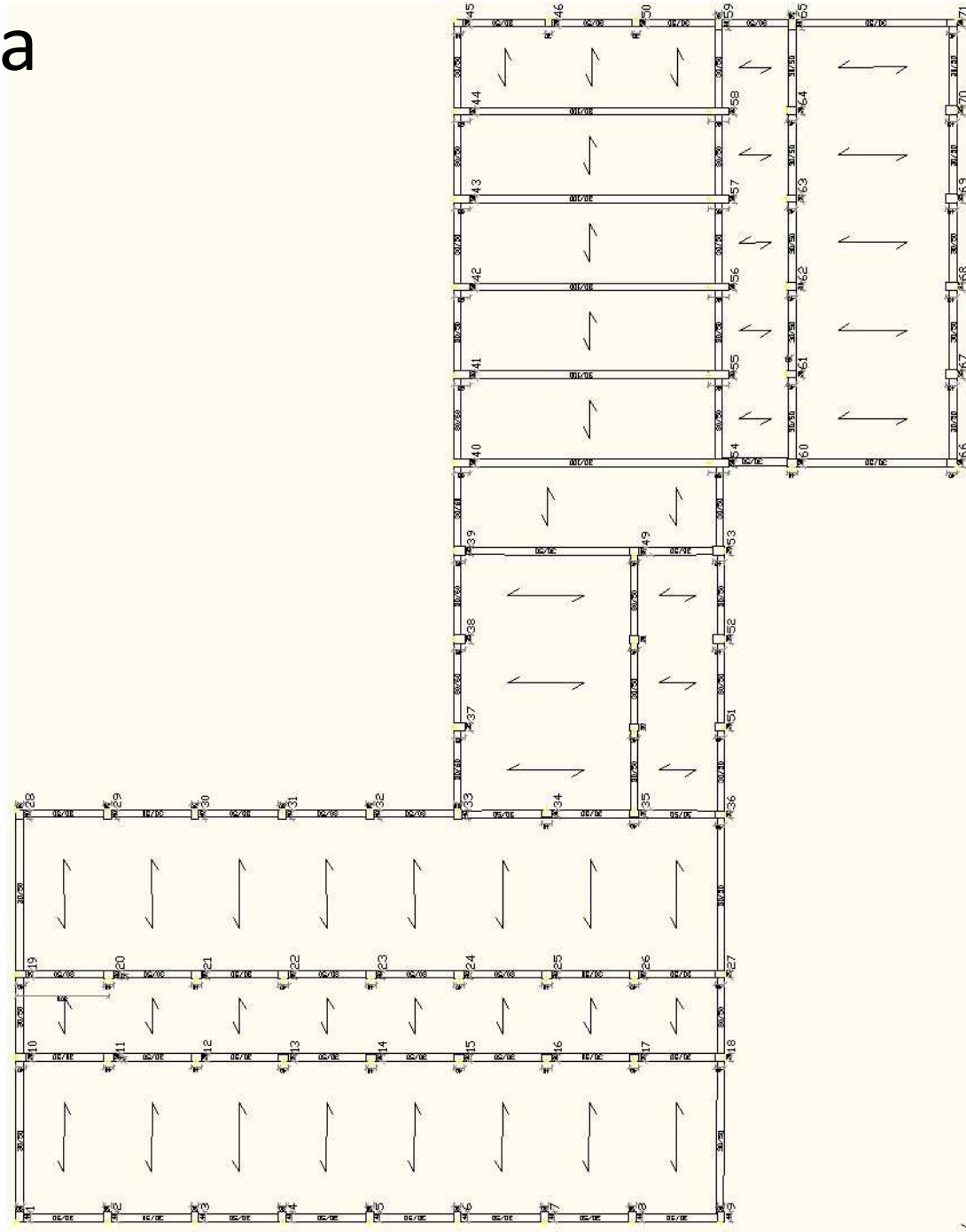
- corpo compatto, con struttura sostanzialmente regolare
- dettagli progettuali sufficienti e buone caratteristiche dei materiali

Contro:

- concezione non idonea, perché ha telai sostanzialmente in una sola direzione
- modesta rigidezza rotazionale in pianta
- alcuni pilastri corti a causa della soletta rampante

# Carpenteria

## corpo B



# Valutazione qualitativa

## corpo B

### Pro:

- struttura sostanzialmente regolare
- buone caratteristiche dei materiali; dettagli progettuali forse sufficienti (manca progetto, ma si suppone analogo all'altro corpo)

### Contro:

- forma dell'impalcato poco compatta
- concezione non idonea, perché mancano travi parallele al solaio
- scala con trave a ginocchio
- variazione di quota del vespaio al piano terra