VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Catania, 25 giugno – 2 luglio 2019

04 – Esame qualitativo della struttura

Docente del corso

AURELIO GHERSI

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

Procedimento da seguire

1. Indagini e prima valutazione della costruzione
   - Reperimento della documentazione, sopralluoghi, rilievo, analisi qualitativa, analisi numeriche semplificate, indagini
2. Analisi lineare (modale con spettro di risposta):
   - Fornisce caratteristiche di sollecitazione e spostamenti (che sono proporzionali ad a_g)
3. Analisi non lineare
   - Giudizio in termini di sollecitazioni e spostamenti
4. Influenza delle incertezze
   - Dare un giusto peso alle incertezze per arrivare ad un valore numerico affidabile

Esame qualitativo della costruzione

- Un sopralluogo che consente un esame visivo della costruzione e della sua struttura e l'esame del progetto originario (se disponibile) o di un rilievo dettagliato sono sempre un punto di partenza
  - Spesso utile per la predisposizione del piano di indagini
  - Fondamentale per lo sviluppo successivo delle analisi

- Occorre cercare di capire:
  - Quale sarà il comportamento elastico lineare della struttura per effetto di azioni orizzontali come il sisma
  - Quale sarà il suo comportamento quando si supera il limite elastico

Comportamento elastico lineare

Possibili punti di debolezza:

- Presenza di una direzione particolarmente debole, perché sostanzialmente priva di travi emergenti
  - Le sezioni possono raggiungere precocemente i limiti di resistenza
  - Una forte deformabilità può rendere rilevanti gli effetti del secondo ordine (effetto Pi-delta)
- Forti dissimmetrie (e carenza di rigidezza rotazionale)
  - Potrebbero portare a forti incrementi di spostamento e sollecitazione nei pilastri e travi più eccentrici
- Elementi che possono portare a sollecitazioni localizzate molto forti
  - Travi emergenti corte, pilastri corti (ad esempio per trave a ginocchio)

Comportamento elastico lineare

Possibili punti di debolezza:

- Attenzione anche agli elementi non strutturali
  - Le tamponature influiscono sul comportamento della struttura, anche se in genere non ne teniamo conto
  - Poche pareti tamponate, prive di aperture e con muratura molto robusta, possono provocare azioni forti nei pilastri adiacenti
  - La distribuzione planimetrica delle tamponature può provocare forti rotazioni degli impalcati e quindi sollecitazioni a pilastri e travi eccentrici
  - La forte carenza di tamponature ad un piano può portare ad una distribuzione di caratteristiche di sollecitazione molto disuniforme, con valori molto elevati in particolare nei pilastri del piano con tamponatura carente

Comportamento oltre il limite elastico

- Limite di resistenza a flessione

  Le travi e spesso anche i pilastri hanno una buona capacità deformativa oltre il limite elastico

  Possibili problemi, per singole sezioni:

  - Travi con forte armatura tesa e minima armatura compressa
  - Pilastri con tensione media N/A_c molto elevata rispetto alla resistenza (a causa di forti carichi e sezione inadeguata, ma a volte anche per la bassa resistenza del calcestruzzo)
  - Pilastri con armatura longitudinale molto bassa

  Possibili problemi, globali:

  - Bassa resistenza a flessione di tutti i pilastri (rispetto a quella delle travi, che può portare a labilità con meccanismo di piano

Comportamento oltre il limite elastico

plasticizzazione degli estremi dei pilastri

1999 – Turchia

Comportamento oltre il limite elastico

plasticizzazione degli estremi dei pilastri

1999 – Turchia

Comportamento oltre il limite elastico

crollo dopo plasticizzazione degli estremi dei pilastri

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

Comportamento oltre il limite elastico

plasticizzazione degli estremi dei pilastri

In questo caso:

- Il superamento della resistenza a flessione porta alla formazione di lesioni
  - Questo comporta l'impossibilità di portare ulteriore momento flettente, ma non il collasso
  - Finché rimane iperstatica e mantiene una certa rigidezza la struttura può continuare a portare carichi verticali ed anche azioni orizzontali
- Se lo spostamento di interpiano cresce oltre un certo limite, si raggiunge il limite di capacità deformativa della sezione
  - In questo caso si ha il crollo

Comportamento oltre il limite elastico

- Limite di resistenza a taglio, scorrimento, ecc.

  Taglio nelle travi, nei pilastri, nei nodi:

  - Il raggiungimento del limite di resistenza a taglio è pericoloso, perché la capacità deformativa oltre il limite di resistenza a taglio è modesta

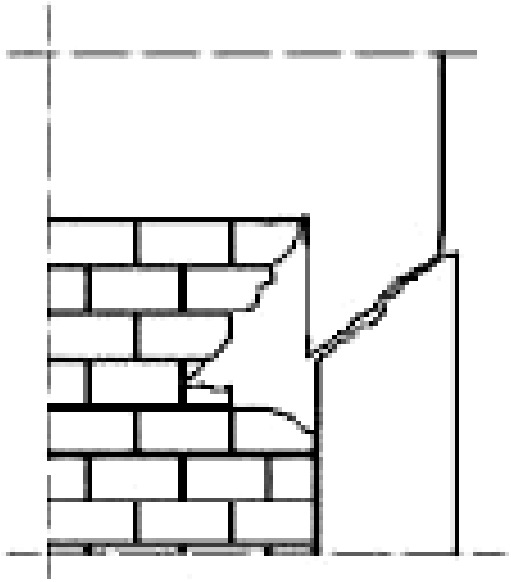
  Scorrimento in corrispondenza della ripresa di getto, tra trave e pilastro:

  - Si verifica in presenza di carenza dell'armatura longitudinale e trasversale del pilastro, anche a causa delle tamponature adiacenti

Comportamento oltre il limite elastico

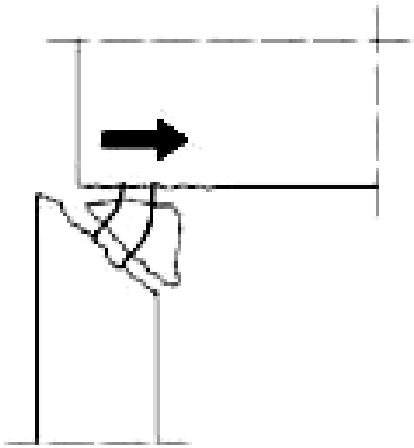
lesioni a taglio in un pilastro

Lesione diagonale della muratura e propagazione come lesione a taglio nel pilastro



Comportamento oltre il limite elastico

lesioni a taglio in un pilastro



Comportamento oltre il limite elastico

crollo conseguente a rottura a taglio dei pilastri (e dei nodi)

1999 – Turchia

Comportamento oltre il limite elastico

crollo conseguente a rottura a taglio dei pilastri (e dei nodi)

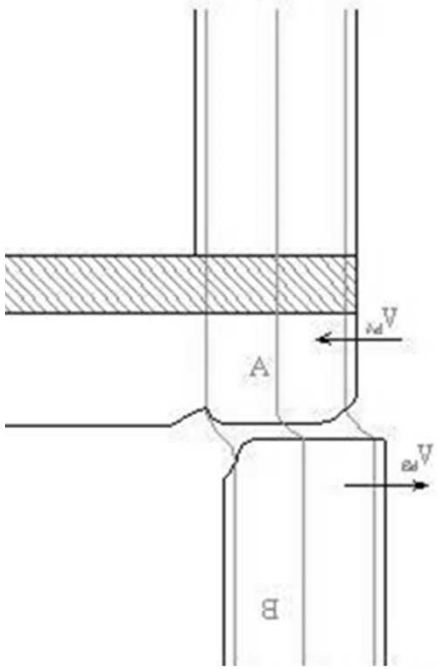
Qual è il problema principale?

- Il superamento della resistenza a taglio porta alla formazione della lesione inclinata
  - Questo comporta l'impossibilità di portare (ulteriore?) taglio e momento flettente, ma non automaticamente il collasso
- Se lo spostamento di interpiano cresce oltre un certo limite, il pilastro non riesce più a sostenere il carico verticale
  - In questo caso si ha il crollo

Comportamento oltre il limite elastico

perdita di un piano per scorrimento fra testa pilastro e trave

Irpinia 1980,
Lioni, Edificio del
Banco di Napoli



Scorrimento tra la sommità del pilastro
e la trave in corrispondenza
della ripresa di getto

Comportamento oltre il limite elastico

crollo con sconnessione dei collegamenti nodali

Danneggiamento dei nodi in testa ed al piede del pilastro: non si ha formazione di cerniere plastiche sulla colonna né tantomeno sulle travi

Comportamento oltre il limite elastico

crollo con sfilamento delle armature

S. Angelo dei Lombardi
edificio 2

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

Comportamento oltre il limite elastico

crolli per scorrimento, sconnessione, sfilamento

Anche in questi casi:

- Il superamento del limite di resistenza dà innesco al fenomeno
- L'incapacità del pilastro a sostenere il carico verticale è anche in questi casi legata all'entità dello spostamento di interpiano
  - Se questo supera un certo limite si ha il crollo

Collasso di edifici esistenti:

come avviene?

- Per comportamento fragile:
  rottura a taglio delle sezioni di pilastri e travi, rotture a taglio dei nodi, scorrimento tra testa pilastro e trave in corrispondenza a riprese di getto, accompagnati da rilevanti spostamenti
- Per esaurimento della duttilità:
  plasticizzazioni agli estremi dei pilastri, con meccanismo di collasso di piano
- La struttura può sopravvivere se ha:
  estese plasticizzazioni agli estremi delle aste (in particolare delle travi), che tendono verso un meccanismo di collasso globale e non di piano

Verifica di edifici esistenti:

Indicazioni di normativa

La normativa parla esplicitamente di:

- Meccanismi fragili
  che si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di resistenza
- Meccanismi duttili (o di esaurimento della duttilità)
  che si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di deformazione
  o di resistenza in relazione al metodo utilizzato

NTC, punto 8.7.2

In termini di resistenza:

Domanda = momento, taglio prodotto dal sisma
Capacità = momento, taglio resistente della sezione

In termini di deformazione:

Domanda = deformazione plastica prodotto dal sisma
Capacità = deformazione ultima che la sezione può sopportare

Esempi

Esame qualitativo della costruzione

Procedimento seguito

- 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 costruzione

Procedimento seguito

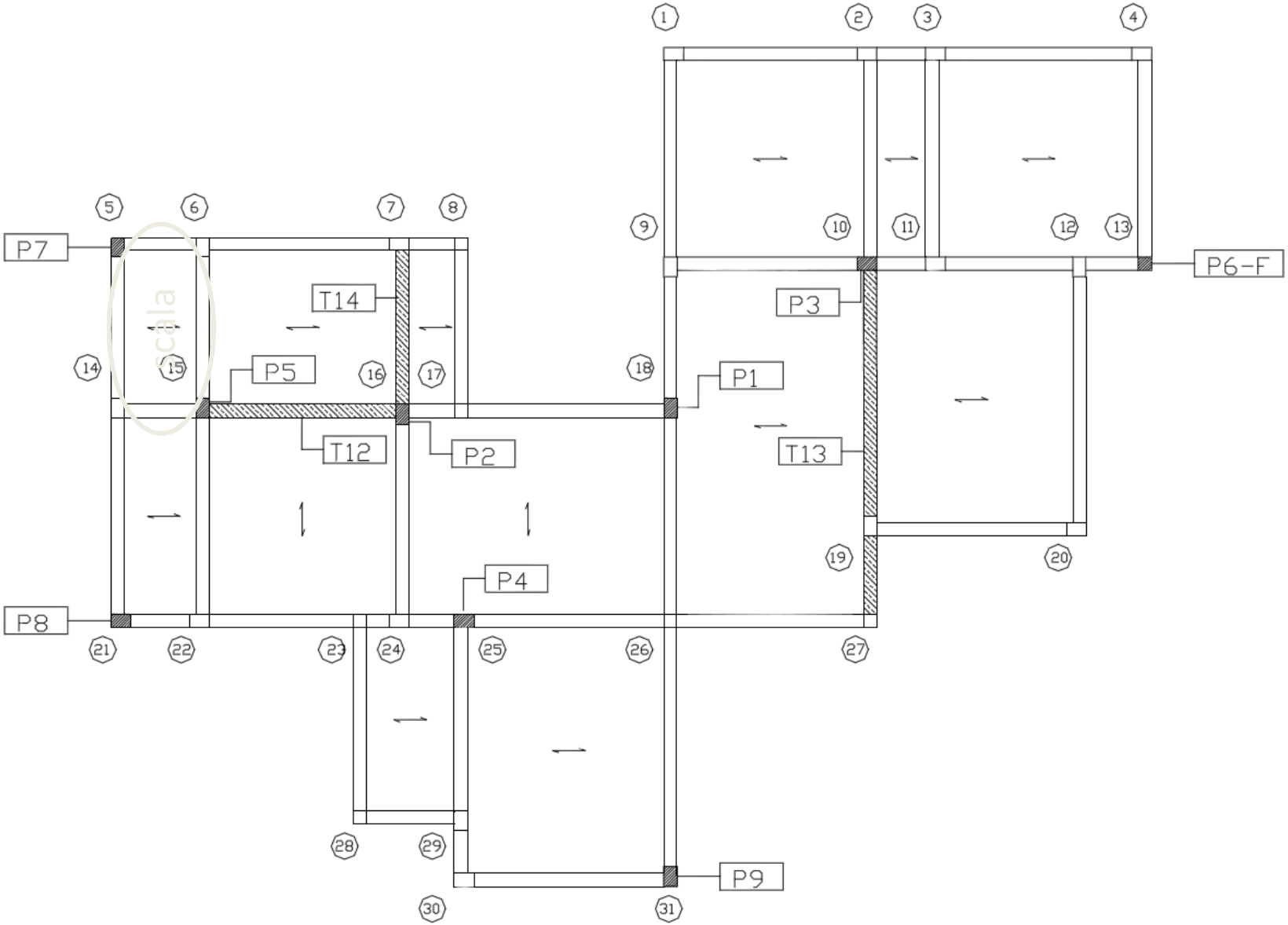
- individuazione di possibili debolezze o irregolarità
  - la struttura ha uguale rigidezza e resistenza nelle due direzioni?
  - i pilastri sono più o meno resistenti delle travi?
  - la distribuzione degli elementi strutturali garantisce una buona regolarità in pianta e in altezza?
  - l'impalcato 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. 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 del’Università di Catania

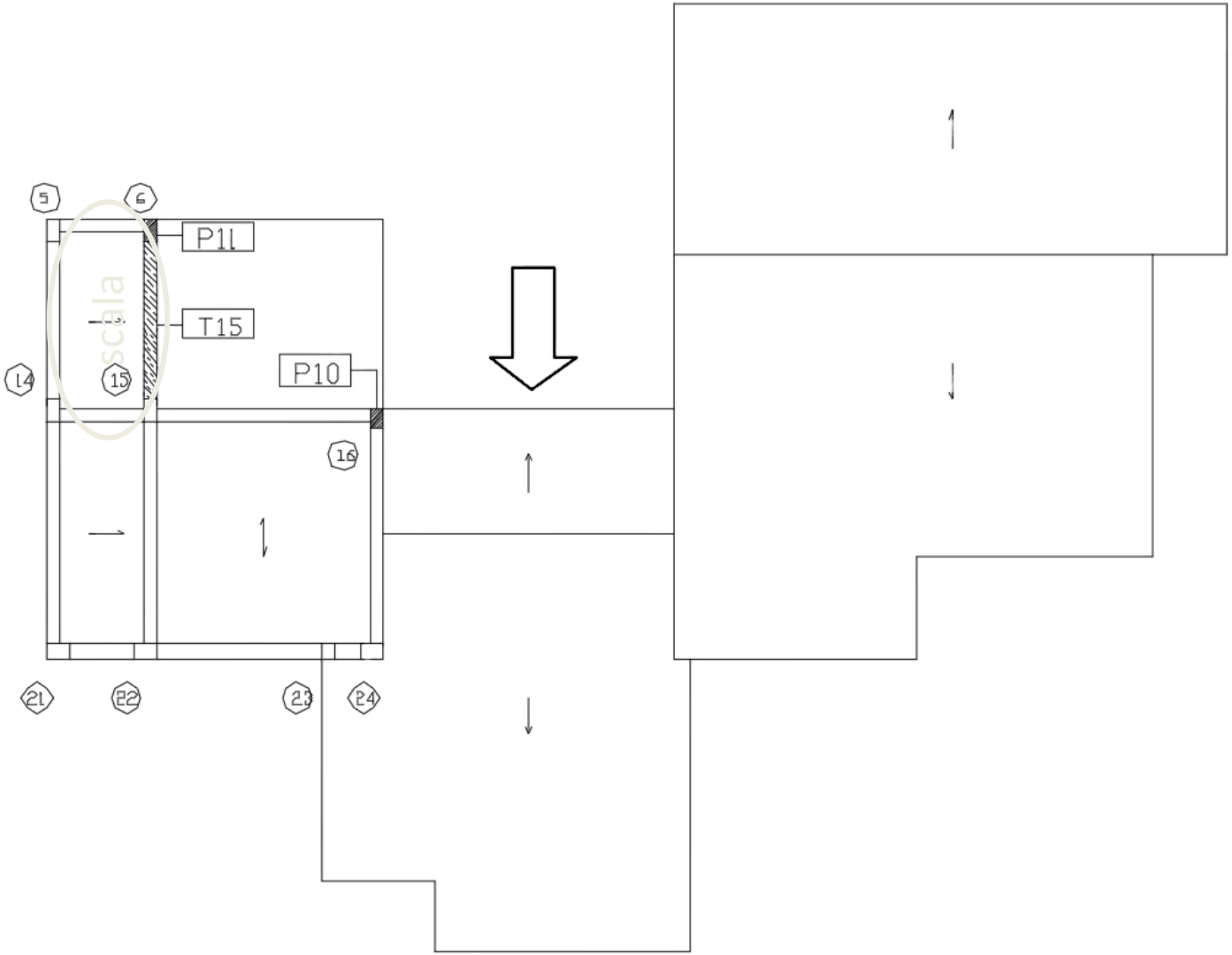
Carpenteria primo impalcato

(copertura piano terra)



Carpenteria secondo impalcato

(copertura primo piano e tetto)



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 ∅16 o ∅20), staffe ∅6 o ∅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)

2. Scuola ad Augusta (SR)

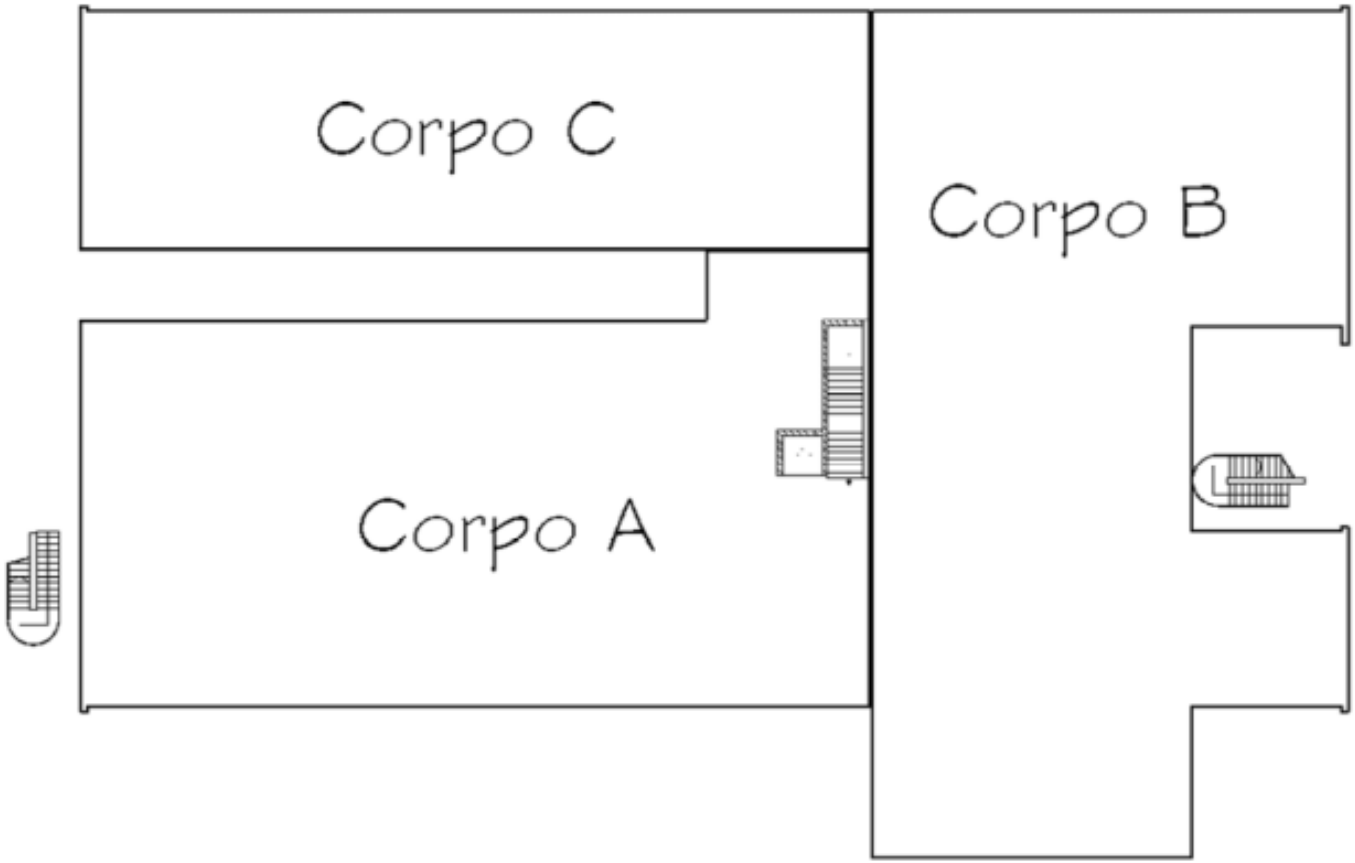
(esempio reale)

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

Scuola ad Augusta (SR)

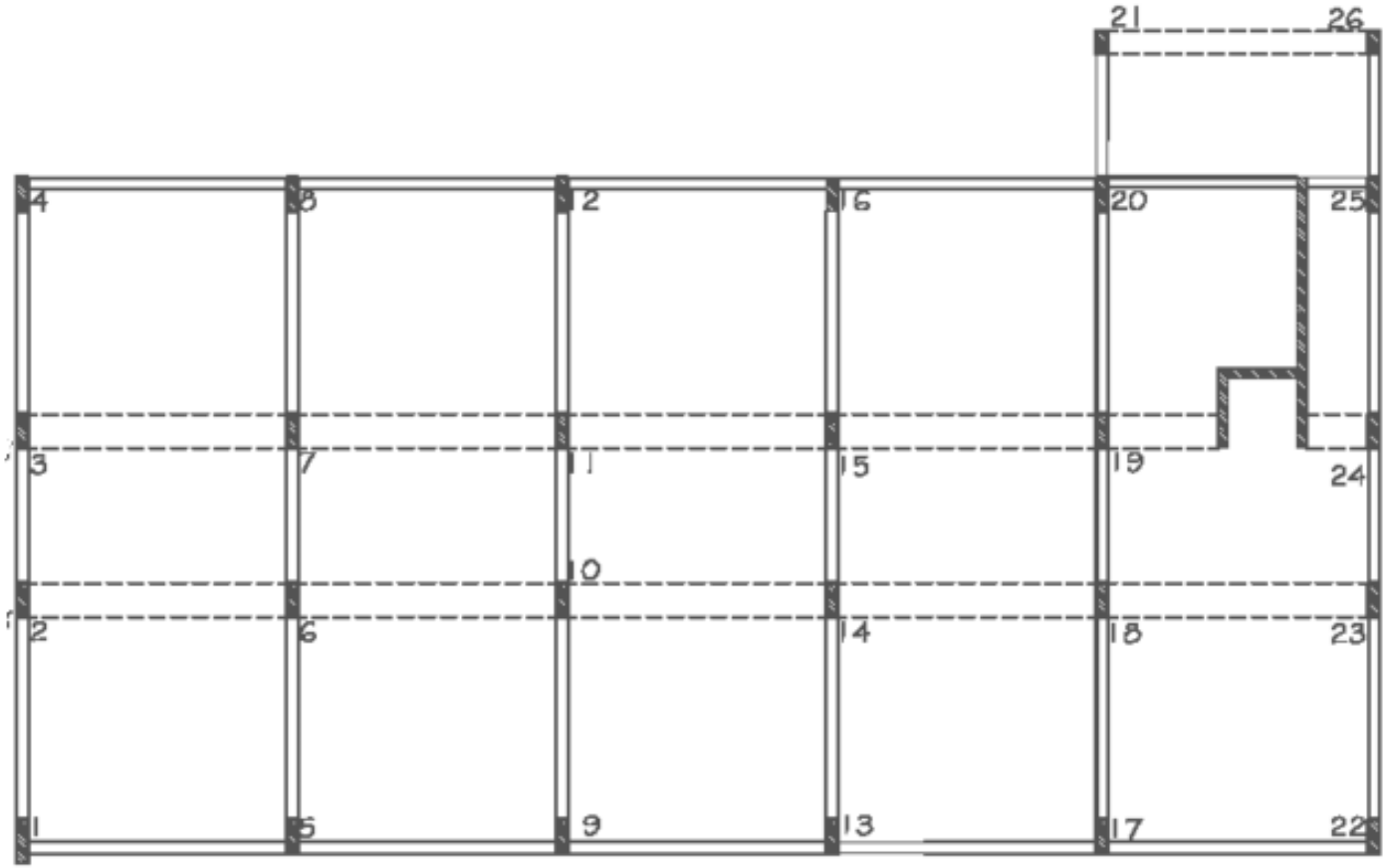
- Edificio con un piano interrato e due piani in elevazione
  - realizzato negli anni ‘80, quando Augusta era già classificata in zona sismica
  - nel 2009, in occasione di interventi di manutenzione, si è riscontrata una caratteristica del calcestruzzo nettamente inferiore a quanto aspettato
  - ci 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

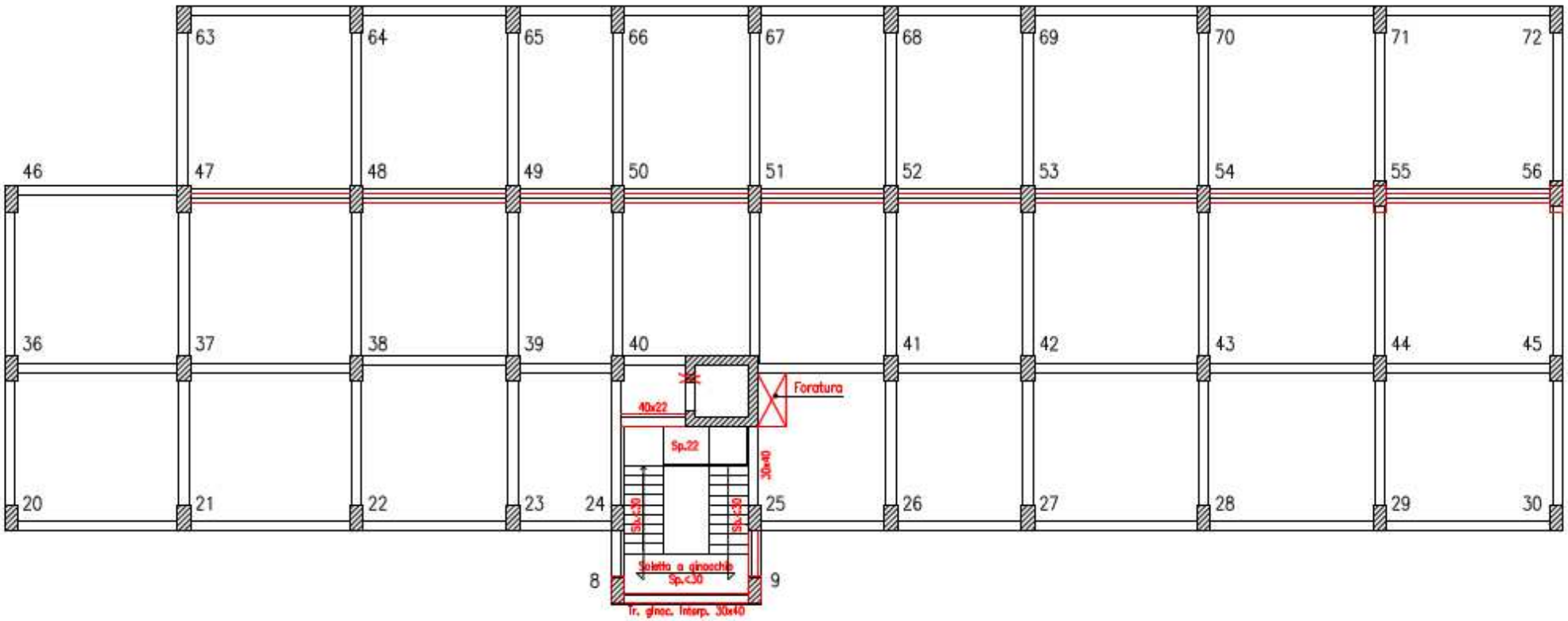
- Analisi svolta:
  - lineare semplificata per un primo giudizio
  - sia lineare che non lineare per un giudizio più approfondito
- Giudizio:
  - la struttura può portare tra il 25% e il 40% del sisma previsto nella zona
  - il suo difetto sostanziale sta nella carenza di staffe nei pilastri; le pareti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

3. Edificio progettato secondo le NTC08
(esempio reale)

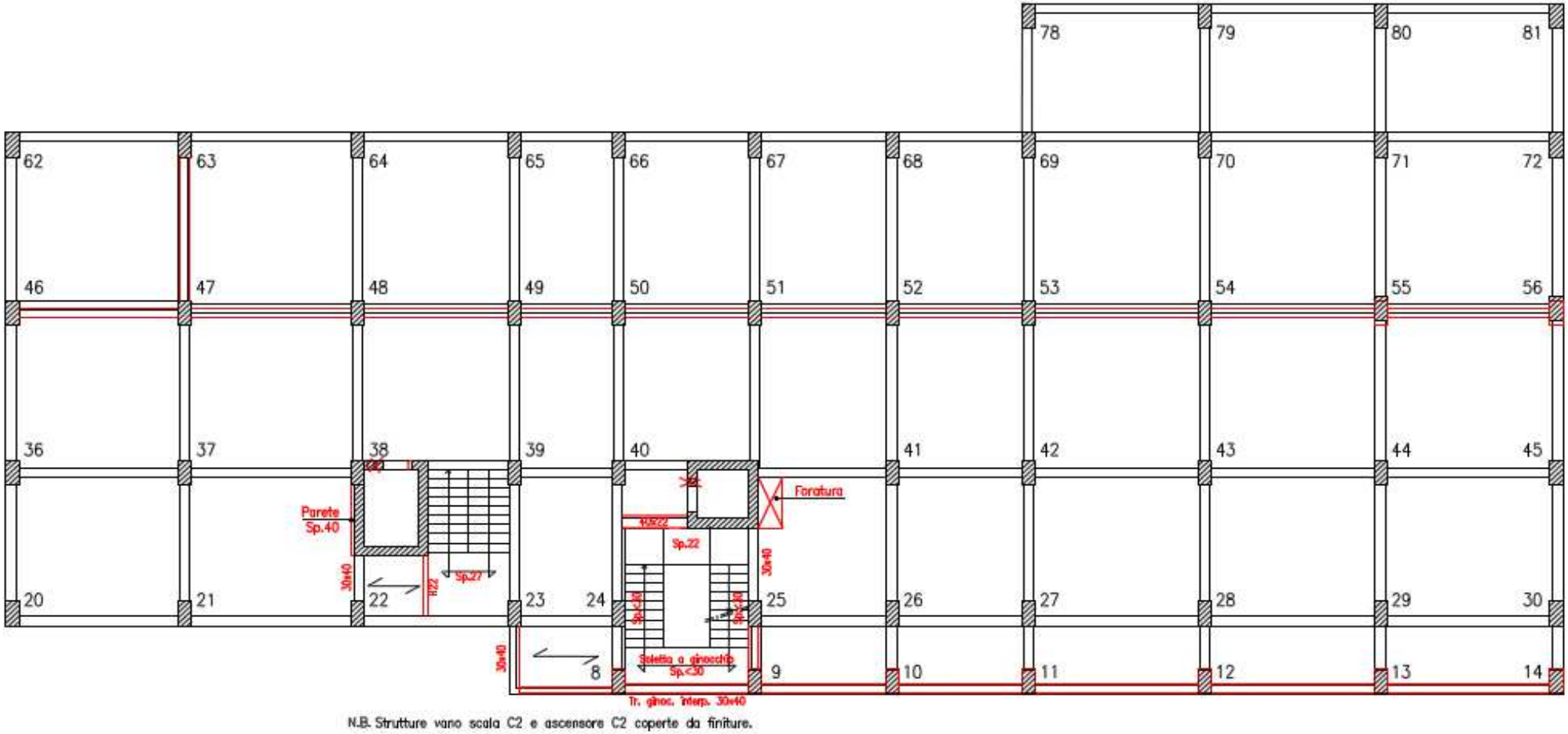
- Edificio a sei impalcati
  - progettato secondo le NTC08 e realizzato nel periodo da aprile 2010 a marzo 2011
  - nel 2013 è stato oggetto di un intervento di variante consistente nell'ampliamento dell'impalcato al quarto livello
  - rilevate difformità tra progetto ed esecuzione
  - necessità di valutarne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

Impalcato 5

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

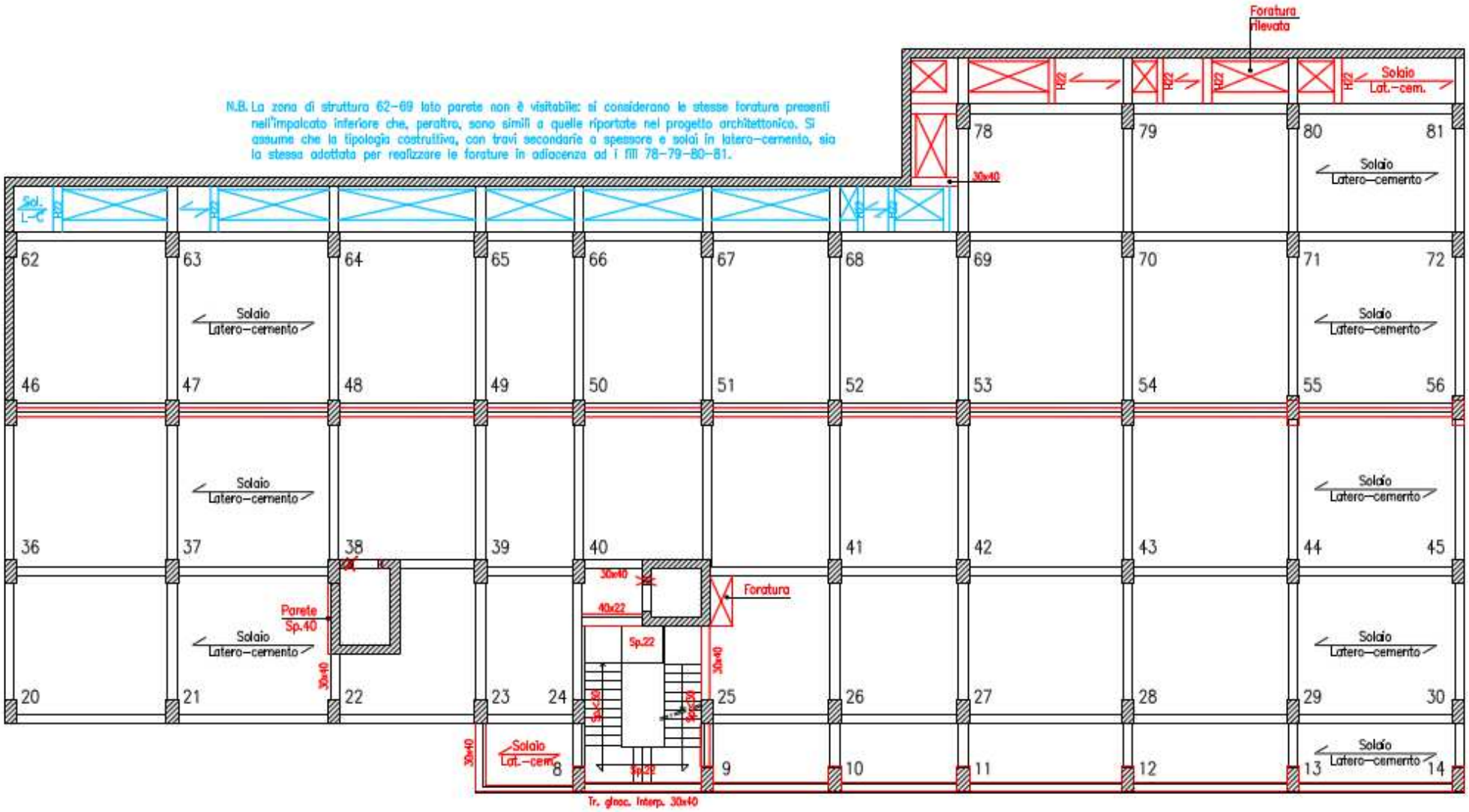


Impalcato 3



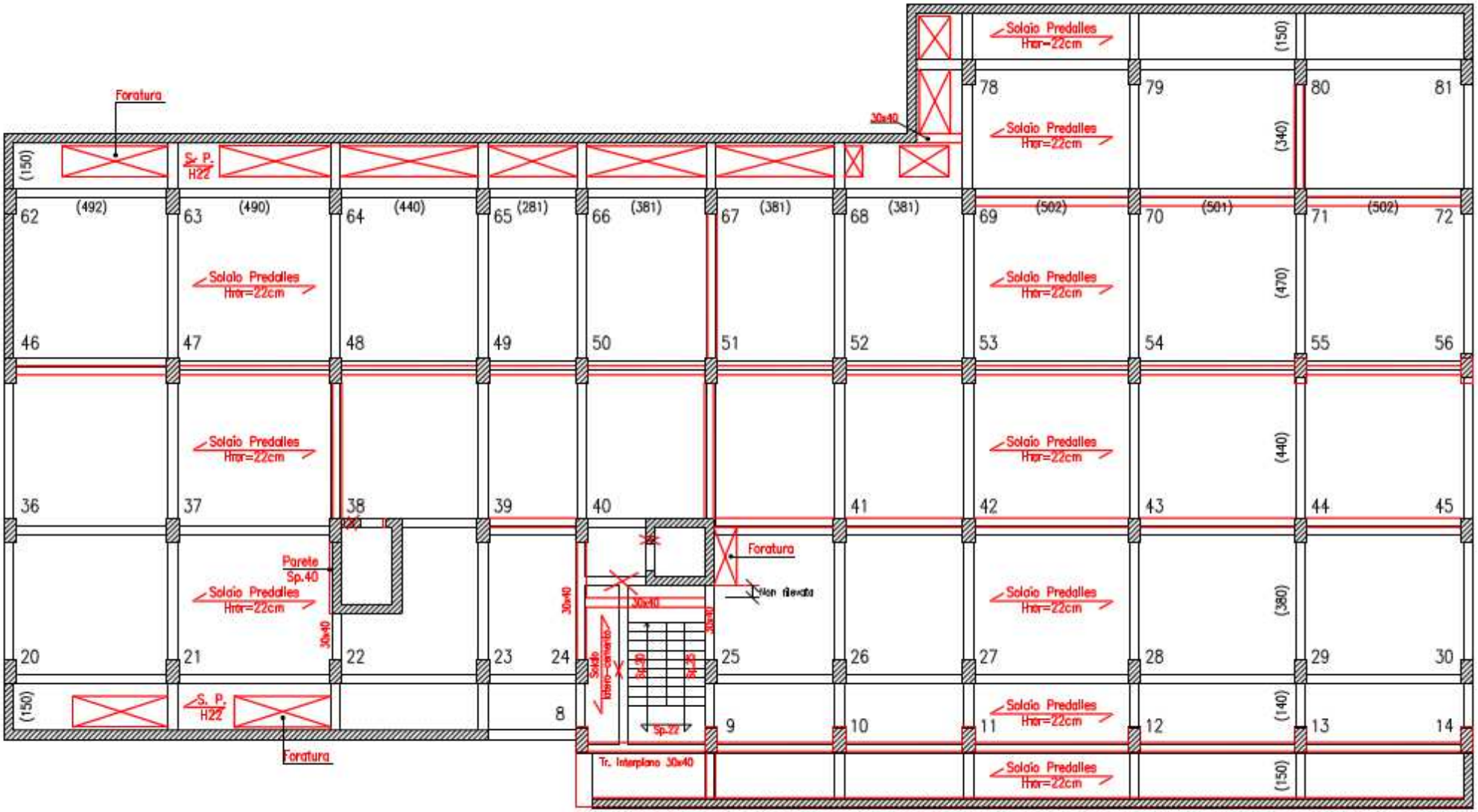
- Scale e vani ascensore costituiscono un irrigidimento non centrato, non ben valutato nel calcolo

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

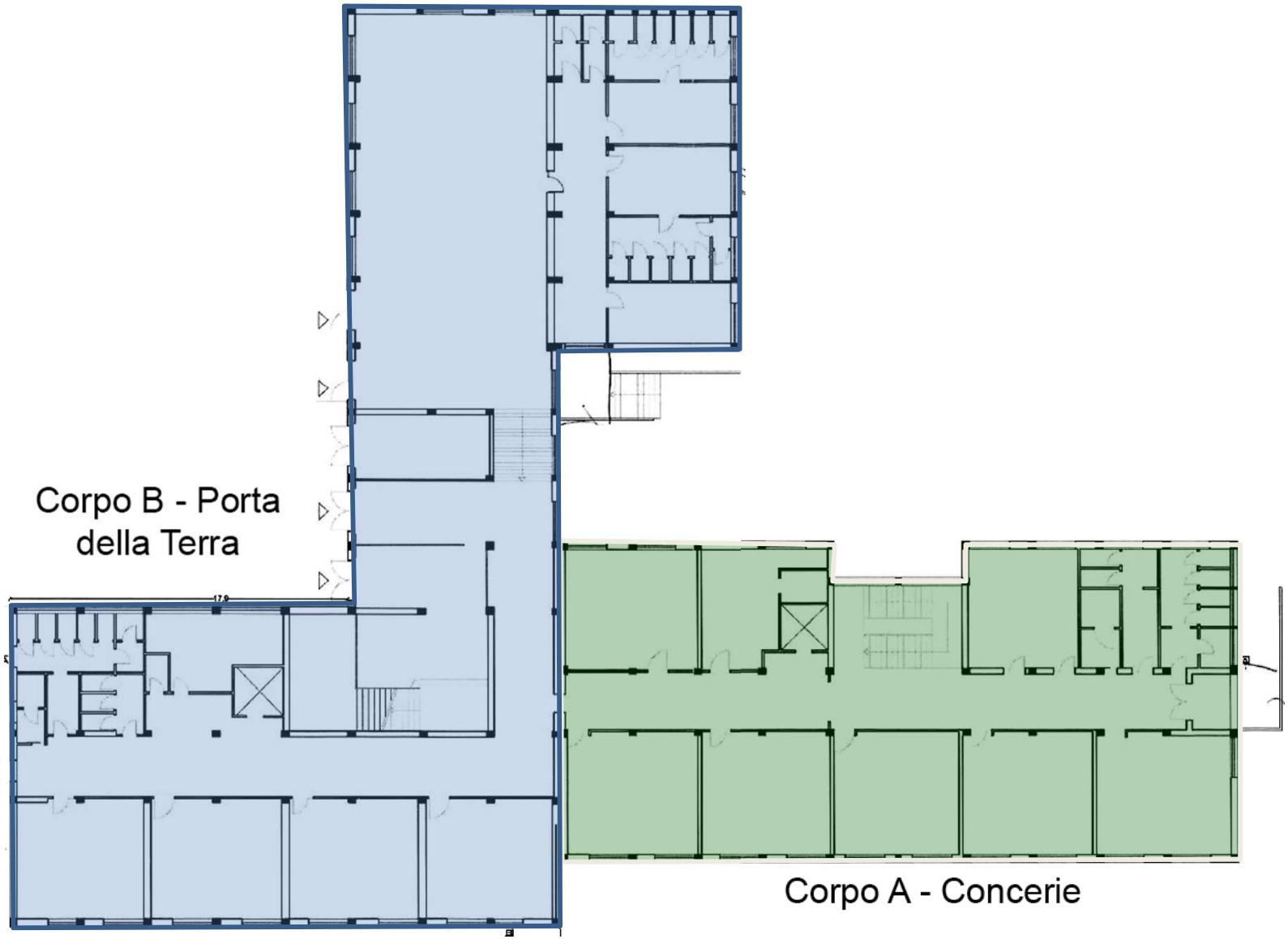
Cosa è risultato
da un'analisi approfondita

- 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

4. 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

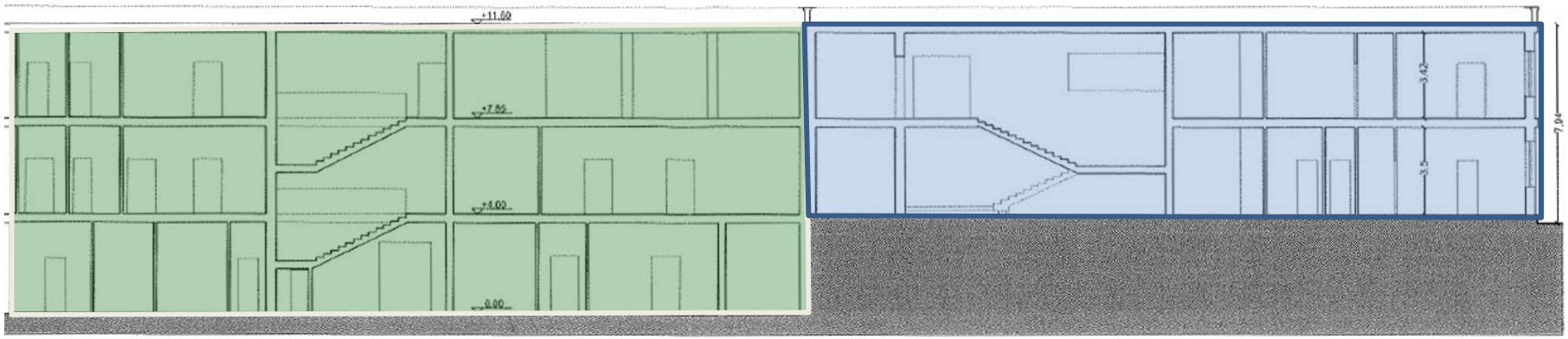
Planimetria generale



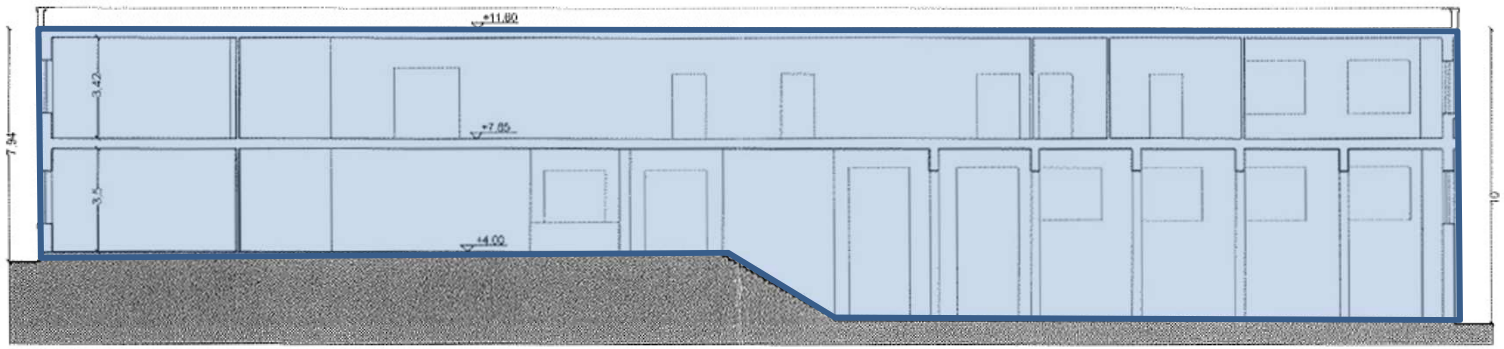
Sezioni longitudinali

Corpo A

Corpo B

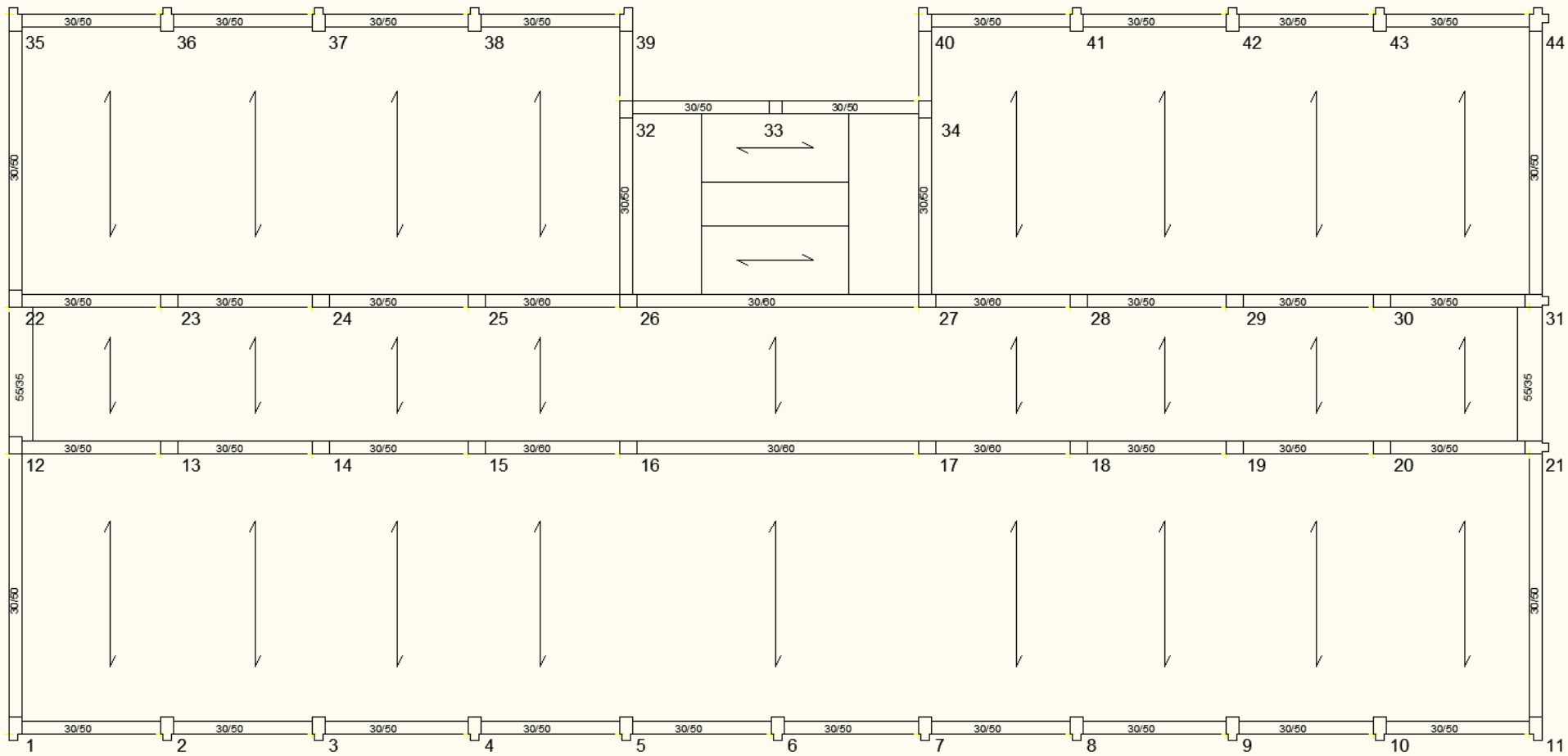


Corpo B



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

Carpenteria corpo A



Valutazione qualitativa

corpo A

Pro:

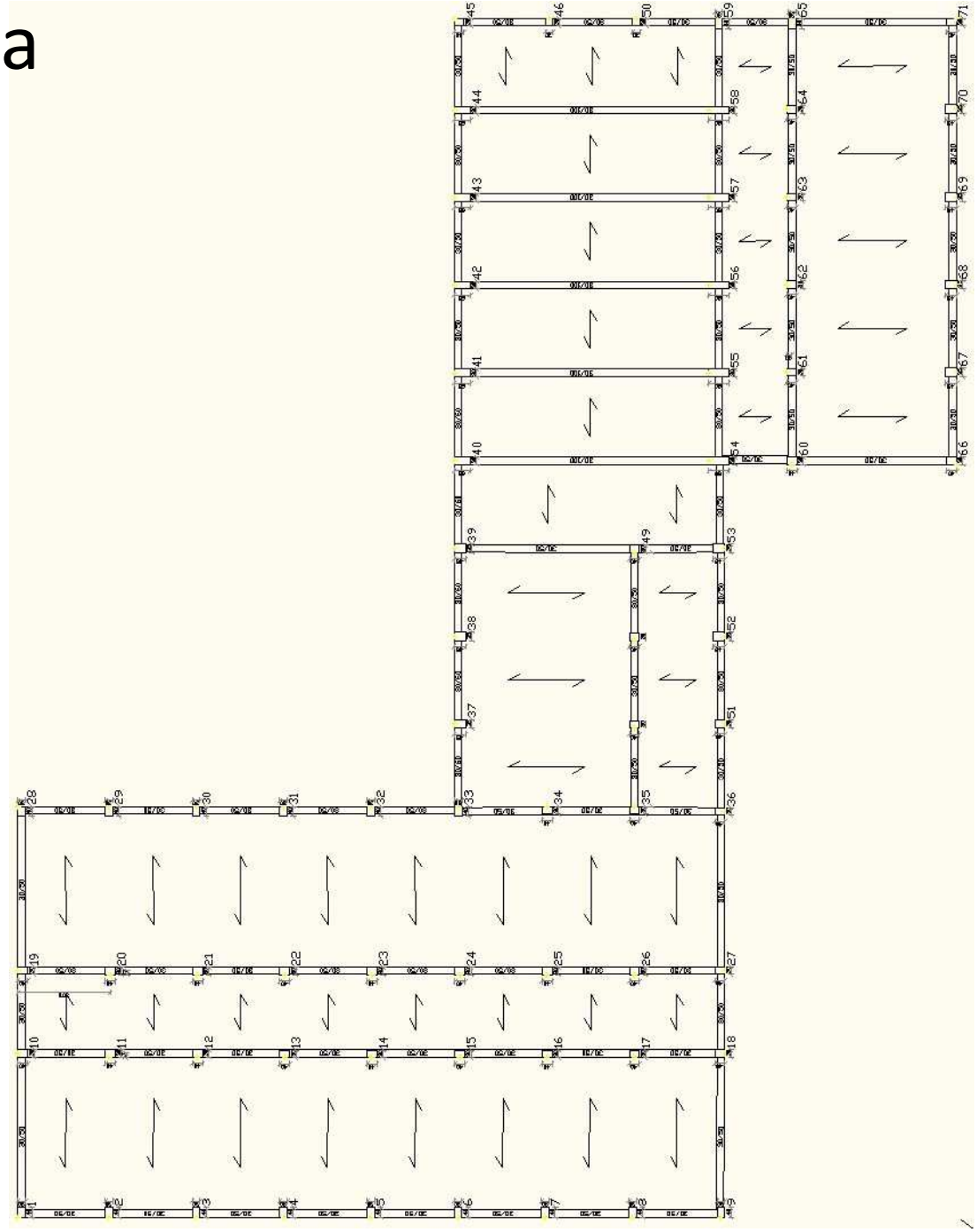
- corpo compatto, con struttura sostanzialmente regolare
- dettagli progettuali sufficienti e buone caratteristiche dei materiali

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

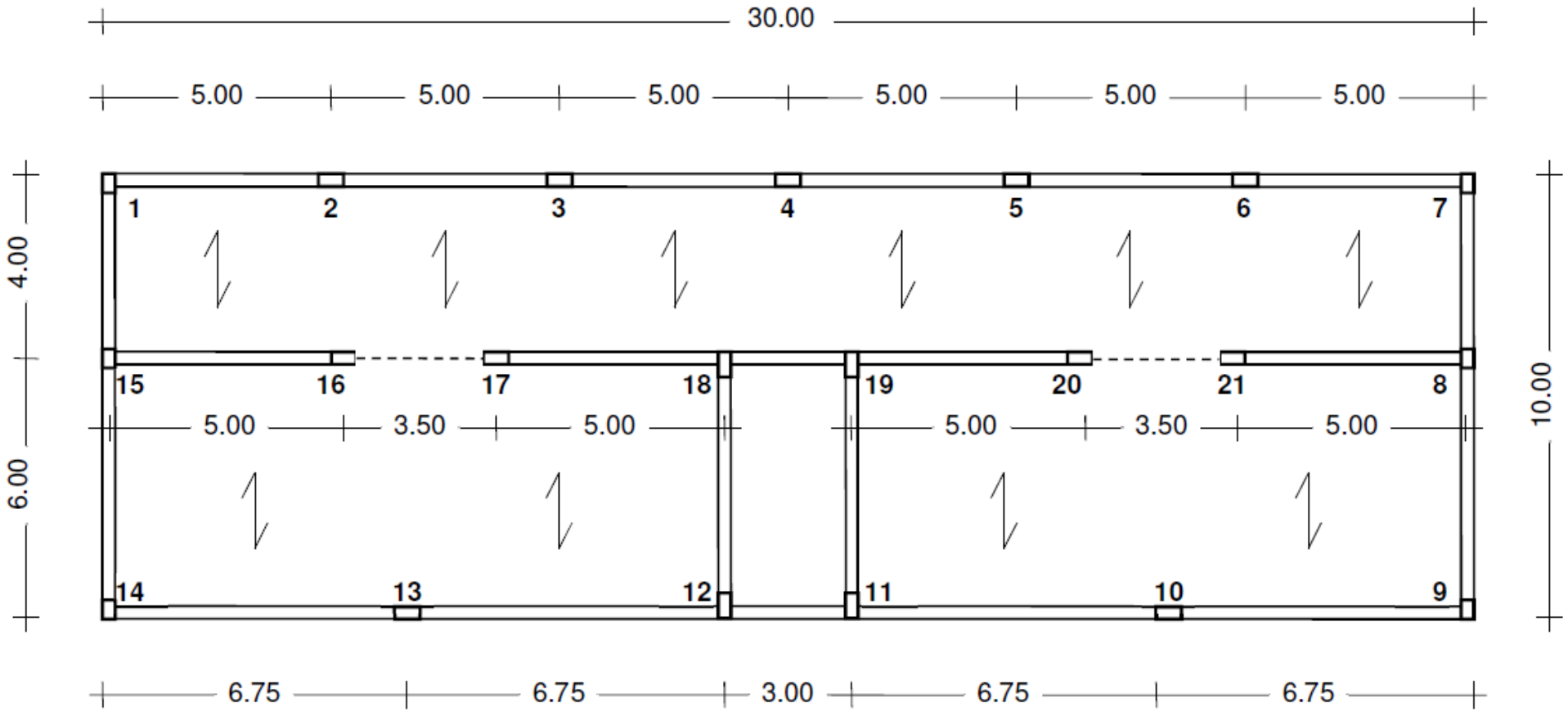
5. Esempio emblematico

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 si riferiscono le elaborazioni numeriche
che vengono presentate come esempio nel corso

Carpenteria del piano tipo



Carpenteria del piano tipo

Valutazione qualitativa

Pro:

- Staffe nei pilastri non particolarmente carenti

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
- La scala è con soletta rampante, con trave a quota intermedia che porta ad incrementi locali di sollecitazione