

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA



Dipartimento di ingegneria civile, edile e ambientale

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA EDILE-ARCHITETTURA

Laureanda:

Alessandra Tiziano

PALAZZO SARPI A PADOVA:

PROGETTO SIMULATO E ANALISI DI VULNERABILITA' SISMICA

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa Francesca Da Porto

Correlatore:

Dr.ssa Ing. Elena Stievanin

Anno accademico 2014-2015

Ringraziamenti

Il primo ringraziamento va alla Prof.ssa Francesca Da Porto, relatrice di questa tesi, per avermi introdotto ai temi della dinamica delle strutture, del problema sismico e quindi della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti e per avermi permesso di approfondirli e svilupparli nella presente tesi.

Un sentito grazie va all'Ing. Elena Stievanin per non aver mai mancato di rispondere alle mie domande, per la disponibilità, pazienza e competenza con cui mi ha guidato in questo lavoro.

Il ringraziamento più grande va alla mia famiglia, ai miei genitori per avermi sostenuto e spronato, a mia sorella Elena che è sempre stata un esempio da seguire e ad Alice che ha rallegrato le mie giornate passate al computer.

A Camilla vorrei dire grazie per aver sempre creduto in me. A Francesca, Silvia e alle mie amiche di sempre un grazie per le chiacchiere e le risate, che solo con voi riescono così bene. A Dario un particolare grazie perché oltre che essere un vero amico è anche stato il mio informatico per tutti questi anni. Ringrazio Sebastiano e Francesco per tutti i bei momenti che abbiamo condiviso negli ultimi dieci anni, Serena, Marta e Roberta che mi sono sempre vicine.

Ringrazio Lara per avermi scelta fra tanti quel primo giorno di lezione al Paolotti; ora ci troviamo a concludere questo percorso insieme, così come lo abbiamo affrontato; Camilla e Gioele per tutti i momenti che abbiamo condiviso tra difficoltà e risate.

Grazie alle mie 'coinquiline' e amiche che hanno reso speciali gli anni passati a Padova, non avrei saputo trovarne di migliori e grazie alla casa alla Colonna, in cui mi sono sempre sentita al mio posto.

Infine ringrazio Stefano perché mi fa sorridere ogni giorno.

INDICE

| | |
|--|-----|
| Introduzione | 7 |
| 1. Inquadramento generale | 9 |
| 2. Analisi storico-critica | 13 |
| 3. Rilievo geometrico-strutturale e fotografico | 25 |
| 3.1. Rilievo geometrico – funzionale | 23 |
| 3.2. Rilievo strutturale | 33 |
| 3.3. Rilievo fotografico esterno | 37 |
| 3.4. Analisi critica del manufatto: del danno, del degrado e della vulnerabilità | 40 |
| 4. Progetto simulato | 43 |
| 4.1. Riferimento normativo e metodo delle tensioni ammissibili | 44 |
| 4.1.1. Metodo di calcolo | 44 |
| 4.1.2. Caratteristiche dei materiali | 47 |
| 4.2. Definizione dello schema di calcolo | 51 |
| 4.3. Determinazione dei carichi | 56 |
| 4.4. Determinazione delle sollecitazioni | 73 |
| 4.5. Determinazione dell'armatura di progetto | 85 |
| 4.5.1. Travi | 85 |
| 4.5.2. Pilastri | 90 |
| 4.5.3. Setti | 92 |
| 4.6. Valutazioni finali | 94 |
| 5. Analisi sismica | 108 |
| 5.1. Definizione del livello di conoscenza | 109 |
| 5.2. Caratterizzazione dei materiali | 111 |

| | |
|--|-----|
| 5.3. Determinazione dei carichi | 114 |
| 5.3.1. Carichi permanenti | 114 |
| 5.3.2. Carichi variabili | 115 |
| 5.3.3. Azioni sismiche | 118 |
| 5.4. Combinazioni di carico | 128 |
| 5.5. Modellazione strutturale | 130 |
| 5.6. Metodologia di analisi | 134 |
| 5.6.1. Analisi modale | 135 |
| 5.6.2. Analisi spettrale | 141 |
| 5.7. Determinazione delle sollecitazioni | 143 |
| 5.8. Verifica secondo normativa | 144 |
| 5.8.1. Travi | 149 |
| 5.8.2. Pilastri | 152 |
| 5.9. Considerazioni finali | 156 |
| 6. Piano di indagini | 181 |
| Conclusioni | 185 |
| Bibliografia | 187 |
| Riferimenti normativi | 188 |
| Appendice 1- Rilievo geometrico | |
| Tav. 1.1 - Pianta piano terra | |
| Tav. 1.2 - Pianta piano primo | |
| Tav. 1.3 - Pianta piano secondo | |
| Tav. 1.4 - Pianta piano terzo | |
| Tav. 1.5 - Pianta piano quarto | |

Appendice 2- Rilievo strutturale

Tav. 2.1 - Pianta piano terra

Tav. 2.2 - Pianta piano primo

Tav. 2.3 - Pianta piano secondo

Tav. 2.4 - Pianta piano terzo

Tav. 2.5 - Pianta piano quarto

Appendice 3- Ipotesi disposizione armatura di progetto

Tav. 3.1 Telaio 1

Tav. 3.2 Telaio 7

Tav. 3.3 Telaio 13

Tav. 3.4 Telaio 17

Allegato: CD contenente materiale d'archivio

Introduzione

Obiettivo di questa tesi è l'analisi di vulnerabilità sismica di palazzo Sarpi, un edificio a telaio in cemento armato, costruito a Padova negli anni 1960-62, oggi sede di uffici comunali, in precedenza filiale della ditta torinese CEAT.

Tale analisi nasce dalla necessità di verificare la capacità di risposta sismica degli edifici esistenti realizzati prima della nuova classificazione sismica introdotta a partire dal 2003. In tale contesto, particolare attenzione è rivolta a edifici sedi di funzioni pubbliche e aventi una certa valenza storica in relazione all'epoca di edificazione (OPCM 2003, articolo 1, comma 3).

Per le costruzioni esistenti è cruciale la conoscenza della struttura (geometria e dettagli costruttivi) e dei materiali che la costituiscono. Nel caso di Palazzo Sarpi non è stato possibile reperire, tra gli elaborati progettuali originali conservati nell'archivio comunale, i disegni strutturali dell'edificio, pertanto si procede con la progettazione simulata, fondata sull'analisi normativa e manualistica dell'epoca. Tale progetto riflette quindi lo stato delle conoscenze tecniche al tempo della costruzione dell'edificio.

La normativa nazionale oggi vigente in materia di costruzioni è costituita dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2008), un testo unico, che raccoglie in forma unitaria le norme che disciplinano la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei fabbricati, al fine di garantire, per stabiliti livelli di sicurezza, la pubblica incolumità. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. La tesi si sviluppa facendo riferimento alle indicazioni presenti in tali norme. In particolare, l'approccio metodologico utilizzato segue quanto prescritto al capitolo 8 delle NTC 2008, dedicato alle costruzioni esistenti e prevede le seguenti fasi.

La prima fase, incentrata sulla conoscenza dell'edificio, comprende i capitoli 1, 2 e 3, che riguardano rispettivamente l'inquadramento del sito, l'analisi storico critica e il rilievo geometrico strutturale e fotografico dell'edificio; il terzo capitolo comprende inoltre l'analisi del degrado e delle vulnerabilità.

Nella seconda fase - che corrisponde al progetto simulato, contenuto nel capitolo 4, sviluppato secondo il Regio Decreto Legge 2229 del 1939 - vengono riprogettati con il metodo delle tensioni ammissibili gli elementi strutturali in termini di armatura, tenendo conto delle caratteristiche geometriche rilevate nella fase precedente.

Nella terza fase corrispondente al capitolo 5, viene svolta l'analisi sismica, facendo propri i risultati del progetto simulato e gli aspetti conoscitivi dell'edificio; in particolare vengono svolte le verifiche di sicurezza strutturale prescritte dalle NTC/2008. La risposta sismica dell'edificio è ottenuta a partire dallo spettro di progetto dell'azione sismica, attraverso un'analisi dinamica lineare elaborata col il programma di calcolo ad elementi finiti Straus 7.

Infine nel cap. 6 viene elaborato un piano di indagini, con lo scopo di sottoporre a verifica i risultati ottenuti dal progetto simulato e aumentare quindi il livello di conoscenza dell'edificio.

1 - INQUADRAMENTO GENERALE

L'edificio oggetto di studio è sito al civico 2 di via Frà Paolo Sarpi a Padova, attualmente sede di uffici amministrativi del Comune di Padova. Destinato inizialmente ai servizi legati alla gestione del territorio, quali il settore Urbanistica e il settore Edilizia, palazzo Sarpi ospita dal 2011 anche il settore Commercio e dal 2013 il settore Ambiente.

La sua costruzione, una struttura a telaio in cemento armato, risale agli anni 1960-62, su progetto dell'architetto Amedeo Clavarino, per l'industria torinese CEAT gomme, che aveva qui una delle sue sedi di rappresentanza e magazzino.

Si tratta di un edificio architettonicamente unitario con forma a "L", i cui prospetti principali (figura 1.1 e 1.2) volgono a sud-ovest verso via Sarpi e a sud-est verso viale Codalunga, in corrispondenza della rampa di discesa dal cavalcavia Borgomagno.



Figura 1.1



Figura 1.2

In realtà l'edificio si prospetta su una strada secondaria, che proviene dalla stazione ferroviaria, sottopassa il cavalcavia Borgomagno e si immette su via Sarpi, denominata via Fra' Giovanni Eremitano; su questa si aprono i tre accessi principali all'edificio.

Il lotto del fabbricato in questione è identificato al catasto fabbricati nel foglio 50 mappale 185 e comprende le particelle 202 e 270; oltre all'edificio principale, sede degli uffici comunali e oggetto di studio, fanno parte dello stesso complesso anche due costruzioni minori poste a nord di questo, adibite a sede dell'archivio comunale.

Nel Piano regolatore generale l'area occupata da Palazzo Sarpi è identificata come zona a servizi di interesse generale e in particolare risulta adibita a uffici amministrativi. Per quanto riguarda il Piano di assetto del territorio, dalla Carta dei vincoli e della pianificazione territoriale si può notare che l'edificio non è soggetto ad alcun vincolo.



Figura 1.1: Estratto da Carta Tecnica Regionale con schema degli ingressi all'edificio

Il contesto urbano in cui l'edificio insiste è quello del cavalcavia ferroviario Borgomagno¹ e della stazione ferroviaria di Padova.

Grandi infrastrutture viarie a più corsie, caratterizzate da un'alta frequentazione, quali viale Codalunga e Via Nicolò Tommaseo, prosecuzione verso la stazione e il centro cittadino di via Venezia, nonché il percorso pedonale proveniente dalla stazione verso la sede universitaria di palazzo Maldura, si intersecano proprio in corrispondenza dell'imbocco di via Sarpi, a ridosso di palazzo Sarpi, ai piedi del cavalcavia che collega il popoloso quartiere dell'Arcella con il centro cittadino.

L'area si qualifica quindi come uno tra i principali ingranaggi dei collegamenti extraurbani, urbani e interquartiere di Padova, nelle immediate vicinanze del centro storico. In antico, sull'area ora occupata da palazzo Sarpi, sorgeva la Chiesa prepositurale della SS.Trinità² interna alla porta medievale di Codalunga (Caolunga), dal

¹ Costruito nel 1903 su progetto di Daniele Donghi, primo manufatto in calcestruzzo realizzato in Italia, risolse i problemi di isolamento della parte nord di Padova dal centro e dalla stazione ferroviaria.

² La chiesa venne distrutta nella guerra tra Venezia e la lega di Cambrai, nei 1913 circa.

toponimo popolare con il quale veniva indicato il prolungarsi del borgo fuori della porta cittadina.

L'edificio è insediato su una porzione territoriale ben definita, in un contesto edilizio dove prevalgono le infrastrutture viarie e ferrate e non soggetto a particolari trasformazioni nella destinazione d'uso; l'isolato di pertinenza del fabbricato si può considerare infatti un triangolo che ha per lati la ferrovia a nord, il cavalcavia Borgomagno a est e via Sarpi a sud.



Figura 1.2: Estratto da ortofoto, fonte: Circe

Immediatamente vicino a palazzo Sarpi nell'angolo tra via Sarpi e viale Codalunga, insiste un pregevole contesto monumentale, costituito dal Bastione della Gatta³ (Figure 1.3 e 1.4), uno dei baluardi delle antiche mura veneziane, e dal parco pubblico disposto a

³ Il torrione della Gatta, costruito nel 1514 su disegno di Bartolomeo d'Aviano, al posto di uno precedente fu distrutto dall'assalto delle truppe della Lega di Cambrai.

terrazzi detto I Giardini della Rotonda, all'interno del quale sorge il serbatoio d'accumulo d'acqua pensile, denominato per la sua forma circolare: la Rotonda⁴.



Figura 1.3



Figura 1.4

Alla luce di quanto esposto, appare evidente come si sia dimostrata strategica dal punto di vista della collocazione urbana la scelta del riuso dell'edificio industriale ex- Ceat come sede di attività amministrative per la città di Padova.

⁴ Notevole opera di ingegneria degli anni 20 del '900, la Rotonda richiama per la sua forma il mausoleo romano di Cecilia Metella.

2 - ANALISI STORICO - CRITICA

I documenti conservati presso l'Archivio del comune di Padova¹, relativi ai progetti edilizi succedutesi nel tempo, attestano la costruzione del fabbricato, sito in via Fra' Paolo Sarpi, 2, negli anni 1960-62, quale sede regionale dell'industria torinese di pneumatici CEAT, acronimo di Cavi Elettrici e Affini Torino.

Sono gli anni del grande decollo economico, che vede anche a Padova un notevole sviluppo edilizio: nello stesso arco di tempo l'arch. Giò Ponti lavora alla costruzione dell'ala nuova della Cassa di Risparmio, edificata su precedente progetto di Daniele Donghi.

Progettista e direttore dei lavori della CEAT è l'arch. Amedeo Clavarino di Milano, con la collaborazione degli architetti del suo studio Renato Ferrero e Bruno Foa. Le opere edilizie sono realizzate dall'impresa Zamperoni – Salce di Padova.

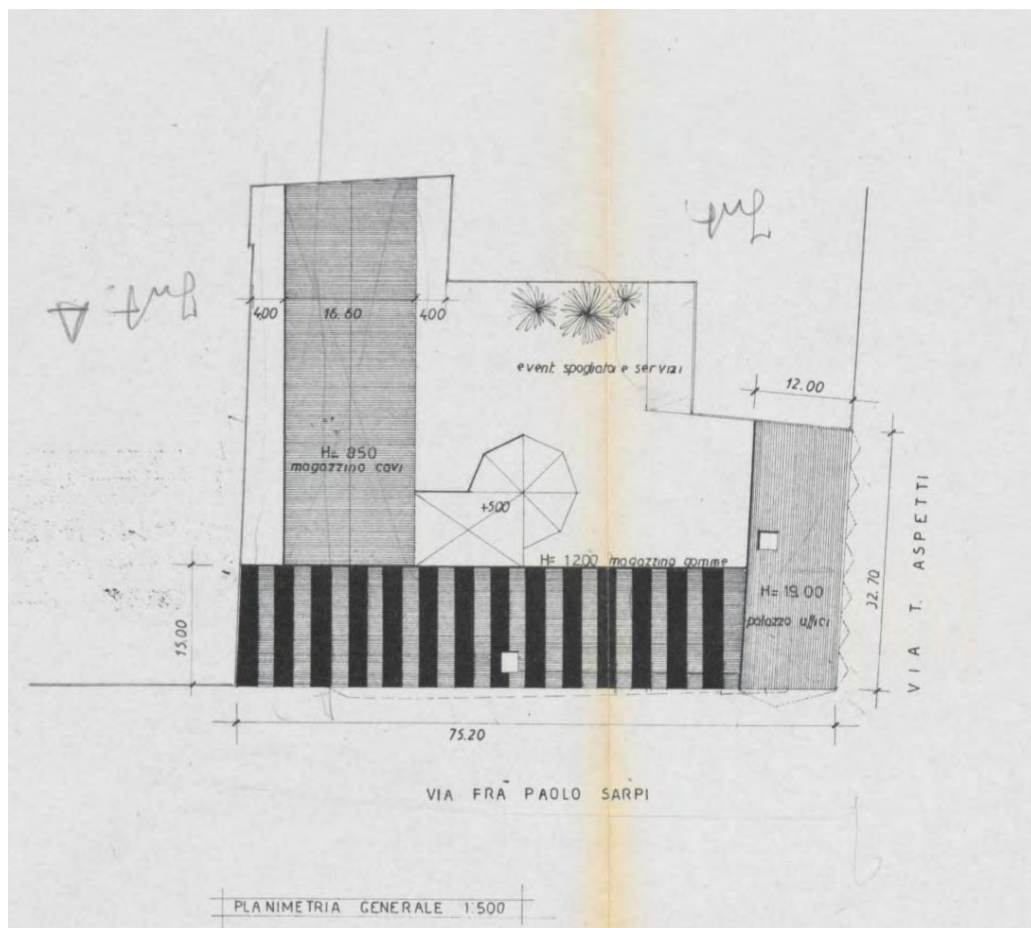


Immagine 3: ACPD, Edilizia privata, Progetto prot. n° 511/60, Planimetria generale, rilievo dell'area, estratto di mappa, 28 giugno 1960, particolare

¹ D'ora in poi ACPD.

L'area di intervento, iscritta a catasto, secondo gli identificativi di allora, in Sez. A, Foglio XX, mapp. 89,90,91 per una superficie netta di 3800 mq, si sviluppa tra via Paolo Sarpi e via Tiziano Aspetti, denominata successivamente via Giovanni Eremitano, in prossimità del cavalcavia Borgomagno.

Le elaborazioni progettuali, presentate al comune di Padova nel periodo compreso tra il 22 aprile e il 23 luglio 1960, relative al fabbricato composto da uffici, magazzino cavi, magazzino gomma, e pertinenze, ricevono l'approvazione della Commissione d'Ornato il 4 settembre dello stesso anno².

Con un'integrazione progettuale del 17 febbraio 1962, si prevede un ulteriore padiglione-cambio gomme e l'alloggio del custode, ricavato all'interno del magazzino gomma.

Il collaudo viene eseguito dall'ing. Ilario Ballarin, ispettore delle opere per conto della prefettura è l'ing. Mario Babad e la licenza d'uso, in seguito a denuncia delle opere in cemento armato da parte della ditta costruttrice, è rilasciata dal prefetto di Padova il 12 giugno 1962³.

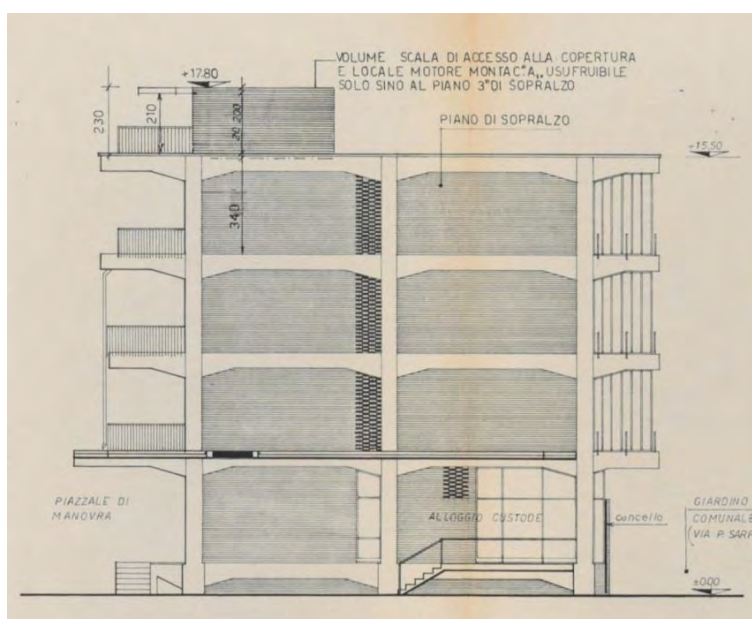


Immagine 4: ACPD, *Edilizia privata, Progetto di sopralzo parziale* prot. n° 20343, *Prospetto fianco ovest*, 15 aprile 1966, particolare

Nel 1966, sempre su progetto dell'arch. Amedeo Clavarino, è realizzato un consistente intervento di ampliamento della struttura in cemento armato, con il sopralzo dell'edificio

² ACPD, *Edilizia privata*, gli elaborati sono identificati come *Progetto* prot. n° 511/60.

³ ACPD, *Edilizia privata*, prot. n° 24065/14. 06.1962, Lettera del Prefetto.

adibito a magazzino gomma⁴. Il piano aggiunto (piano terzo) presenta le medesime caratteristiche strutturali ed architettoniche del sottostante, tanto da far pensare a un ampliamento già ipotizzato in sede del progetto iniziale del 1960. L'altezza del magazzino diventa quindi di metri 15,50.

Le traversie finanziarie del gruppo CEAT, seguite all'abbandono dell'attività imprenditoriale da parte della famiglia Bruni Tedeschi, titolare dell'azienda dal 1924, portano alla chiusura della fabbrica di Torino nel 1979, alla vendita del marchio alla Pirelli, al commissariamento di tutto il gruppo CEAT nel 1983 e alla progressiva chiusura delle sedi dislocate in varie parti d'Italia.

La sede di Padova della CEAT, entrata nel frattempo in amministrazione straordinaria, nel mese di marzo 1986, presumibilmente nell'imminenza della vendita dello stabile al Comune, presenta una pratica di condono edilizio per alcuni cambi di destinazione d'uso all'interno del fabbricato⁵.

L'iter di ristrutturazione dell'edificio ex-CEAT, per renderlo atto ad accogliere uffici e servizi del comune di Padova, ha inizio nel 1987 sulla base di un progetto dello Studio di architettura Alessandro Vanzetto di Padova. Gli elaborati grafici prodotti dallo studio Vanzetto riguardano in prevalenza il rilievo dello stato di fatto dei corpi di fabbrica che compongono l'intero complesso industriale dismesso, il disegno dei prospetti dello stato futuro e di particolari architettonici riferiti ai serramenti⁶.

Con una variante in corso d'opera, l'attività progettuale riprende nel 1990 da parte dell'arch. Nello Tietto di Padova, che presenta il disegno delle piante dei 5 piani dell'edificio⁷; dall'esame di queste si nota che la struttura rimane invariata, mentre vengono aggiunte delle partizioni interne e delle scaffalature a parete in modo da creare degli spazi adatti ad accogliere gli uffici comunali.

Il 20 gennaio 1992 l'architetto Tietto presenta al capo settore Edilizia pubblica del comune di Padova il "*Progetto per l'esecuzione di opere di completamento degli edifici comunali di via Frà Paolo Sarpi*", composto da 18 tavole relative a planimetrie generali,

⁴ ACPD, *Edilizia privata*, prot. n° 20343/15.04.1966.

⁵ ACPD, *Municipio di Padova*, prot. 18277/26.03.1986.

⁶ ACPD, *Demanio e patrimonio*, prot. 1778/11.05.1987, *Progetto di ristrutturazione fabbricato ex-CEAT ad uso uffici comunali*.

⁷ ACPD, *Settore Ammin. LL. pubblici*, prot. 3086/13.07.1990, *Progetto di ristrutturazione fabbricato ex-Ceat, variante in corso d'opera*.

piante dei piani, prospetti e particolari. Altri elaborati grafici riguardano gli impianti tecnologici: idrico-sanitario e gas-antincendio⁸.

Le ultime tavole progettuali, presentate al settore Edilizia pubblica del comune di Padova dall'arch. Tietto il 18 novembre 1994, si riferiscono alla realizzazione di un bar pubblico mai avvenuta⁹.

Attualmente palazzo Sarpi è sede dei servizi comunali legati all'ambiente, all'urbanistica, all'edilizia privata, al commercio, alla mobilità.

In anni recenti, sul corpo rivolto a ovest, sono stati aggiunti dei pannelli solari in copertura, montati su una struttura metallica; tali pannelli fotovoltaici coprono la gran parte della superficie calpestabile lasciata libera dai vani tecnici e impiantistici, per un'area di circa 250 metri quadrati.

⁸ ACPD, *Settore edilizia pubblica*.

⁹ *Ibidem*

INDICE ELABORATI PROGETTUALI IN ORDINE CRONOLOGICO

I numeri da 001 a 128 indicati tra parentesi tonda dopo la denominazione delle tavole progettuali, si riferiscono alle scansioni dei progetti architettonici posseduti dall'Archivio del Comune di Padova (ACPD) riportati nel cd allegato; per le diciture si è rispettata la forma originale, desunta dalle tavole.

Progetto Arch. Amedeo Clavarino (ACPD, *Edilizia privata*, prot. 13142)

22 aprile 1960

- “Ceat – Padova - via Aspetti” planimetria generale, rilievo dell'area con prospetti edifici confinanti, estratto di mappa (028)
- pianta piani 3° e 4°; pianta copertura e sezioni (029-030)
- prospetto verso via Paolo Sarpi (031-034)

Progetto Arch. Amedeo Clavarino (ACPD, *Edilizia privata*, progetto n. 511/60)

28 giugno- 23 luglio 1960

- “Ceat-Padova-via Aspetti” planimetria generale, rilievo dell'area con prospetti edifici confinanti, estratto di mappa (019)
- sezione A.A e prospetto testata corpo su via Sarpi, pensilina a ombrello e piazzale (023-024)
- sezione C.C prospetto su via P. Sarpi, planimetria generale (020-021)
- particolare grigliato prospetto su via Aspetti (022)
- prospetto su via Tiziano Aspetti (027)

Cap. 2 - Analisi storico critica

- prospetto su via P. Sarpi, planimetria generale, altezze fabbricati confinanti (005-008)
- sezione A-A prospetto testata corpo su via Sarpi (010)
- sezione B-B, prospetto interno palazzina uffici rampa di discesa alla centrale termica (009)
- pianta piano rialzato, discesa alla centrale termica, ascensore e 2 montacarichi, magazzino gomma, magazzino cavi, negozio, pianta della centrale termica (011-012)
- pianta piano 1°, uffici, sala riunioni, servizi, magazzino gomma, copertura magazzino cavi (013-014)
- pianta piano 2° uffici, sala riunioni, servizi, magazzino gomma (015-016)
- pianta ultimo piano, uffici di presidenza e segreteria, copertura magazzino gomme e magazzino cavi (017-018)

Progetto Arch. Amedeo Clavarino (ACPD, *Edilizia privata*, prot. n° 8593)

17 febbraio 1962

- “Nuovo padiglione cambio gomme”, planimetria, prospetti, pianta (002-003)
- fianco magazzino gomme, modifica per alloggio custode (001)

12 giugno 1962

- Rilascio della licenza d'uso per opera in cemento armato da parte del prefetto di Padova

10 giugno 1963

- Rilascio certificato prevenzione incendi da parte del Comando dei Vigili del fuoco

Progetto Arch. Amedeo Clavarino (ACPD, *Edilizia privata*, prot. n° 20343)

15 aprile 1966

- tav. 1, Progetto di sopralzo parziale; planimetria generale, rilievo dell'area, estratto di mappa; prospetti, proprietà e destinazioni edifici confinanti (035)
- tav. 2, Pianta piano rialzato (036)
- tav. 3, Pianta piano I° (037)
- tav. 4, Pianta piano 2° (038)
- tav. 5, Planimetria generale, pianta piano 3°; evidenziazione dell'edificio di cui si presenta progetto di sopralzo per ricavare un nuovo magazzino di prodotti vari (039-040)
- tav. 6, Pianta copertura magazzino di sopralzo (041)
- tav. 7, Pianta magazzino cavi e bobine e prospetto (042)
- tav. 8, Prospetto su via Giovanni Eremitano (043)
- tav. 9, Prospetto su via Paolo Sarpi, con evidenziazione del piano di sopralzo (044)
- tav. 10, Piano di sopralzo prod. vari; nuovo locale motore monta carico (045)

- Tav. 11, Sezione A-A; nuova rampa in sopralzo (046)
- tav. 12, Sezione C-C, fianco ovest, sezione B-B; volume scala di accesso alla copertura e locale motore monta carico (047)

22 aprile 1966

Denuncia opera in cemento armato per ampliamento magazzino CEAT-gomma alla prefettura di Padova (048-049)

26 marzo 1986

Il municipio di Padova (prot. 18277) riceve tre tavole grafiche, firmate dall'Ing. Domenico Gallo per conto della CEAT-gomma, in amministrazione controllata, con riferimento alla legge n. 47 del 28-2-1985 "Condonò edilizio"

- tav. 1, corpi A-B, piano seminterrato e piano rialzato (050-051);
- tav. 2, corpo A, piano secondo (052)
- tav. 3, corpo C, piano terra (053)
- particolari del balcone ampliato (054)

Arch. Alessandro Vanzetto "Progetto di ristrutturazione fabbricato ex-CEAT ad uso uffici municipali" (ACPD, Demanio e patrimonio, prot. n. 1778 /11 maggio 1987)

maggio 1987

- pianta piano terra, stato attuale (105-106)

- pianta piano primo, stato attuale (103-104)
- pianta piano secondo, stato attuale (107-108)
- pianta piano terzo, stato attuale (109-110)
- pianta piano quarto, stato attuale (111-112)
- planimetrie generali (113-114)
- pianta piano interrato (115)
- prospetti, stato attuale 116-117)
- prospetto sud, stato futuro (118)
- prospettiva, stato attuale (119)
- prospetti e sezione, stato futuro (120-122)
- particolari costruttivi dei serramenti (123-127)
- prospettiva stato futuro (128)

Arch. Nello Tietto “Progetto di ristrutturazione fabbricato ex-CEAT, variante in corso d’opera” (ACPD, Settore Edilizia Pubblica, 20 gennaio 1992)

luglio 1990

- tav. 1, piano terra (085- 087)
- tav. 2, pianta piano primo (088-090)

- tav. 3, pianta piano secondo (091)
- tav. 4, pianta piano terzo (092)
- tav. 5, pianta piano quarto (093)
- tav. 6, sezione (094)

“Progetto di ristrutturazione fabbricato ex-CEAT, opere di completamento”

Maggio 1991

- tav. 18, Planimetrie generali, dati riassuntivi stato attuale, dati riassuntivi progetto di variante, sup. catastale mq 3874 (072-074)

“Progetto per l’esecuzione di opere di completamento degli uffici comunali di via Fra’ Paolo Sarpi- Padova” (055)

Settembre 1991

- tav. 1, pianta piano terra (056-058)
- tav. 2, pianta piano primo (059-061)
- tav. 3, pianta piano secondo (062)
- tav. 4, pianta piano terzo (063)
- tav. 5, pianta piano quarto (064)

- tav. 15, prospetti e particolare di frangisole e rivestimento (065-067)
- tav. 16, prospetti est e ovest (068-069)
- tav. 17, sezioni AA, BB, CC (070-071)

3- RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE E FOTOGRAFICO

3.1- RILIEVO GEOMETRICO - FUNZIONALE

L'edificio presenta in pianta forma ad "L"; ai fini descrittivi le due ali verranno chiamate CORPO OVEST e CORPO EST, rispettivamente quello posizionato a ovest prospiciente via Sarpi e quello posizionato a est rivolto verso via Codalunga. Nel complesso la lunghezza del prospetto rivolto verso via Sarpi è di metri 61,50 mentre il prospetto verso via Codalunga ha dimensioni minori, di metri 32,60.



Figura 3.1: Estratto da Carta Tecnica Regionale con evidenziati gli edifici contigui

E' presente un cortile interno pavimentato di 665 mq, delimitato a nord dai fabbricati che ospitano l'archivio comunale e a ovest dall'edificio rettangolare contenente la sala riunioni del comune, evidenziati in grigio più scuro nell'immagine 5. Lo spazio del cortile è adibito a parcheggio per le vetture di proprietà del Comune di Padova ed è collegato all'esterno tramite l'area porticata verso viale Codalunga e l'accesso carrabile verso via Sarpi.

E' stato evidenziato nella stessa immagine l'unico edificio contiguo a palazzo Sarpi, si tratta di un condominio a quattro piani con i solai sfalsati rispetto all'edificio oggetto di studio; dalla tipologia edilizia e dai materiali impiegati si suppone sia sostanzialmente coevo.

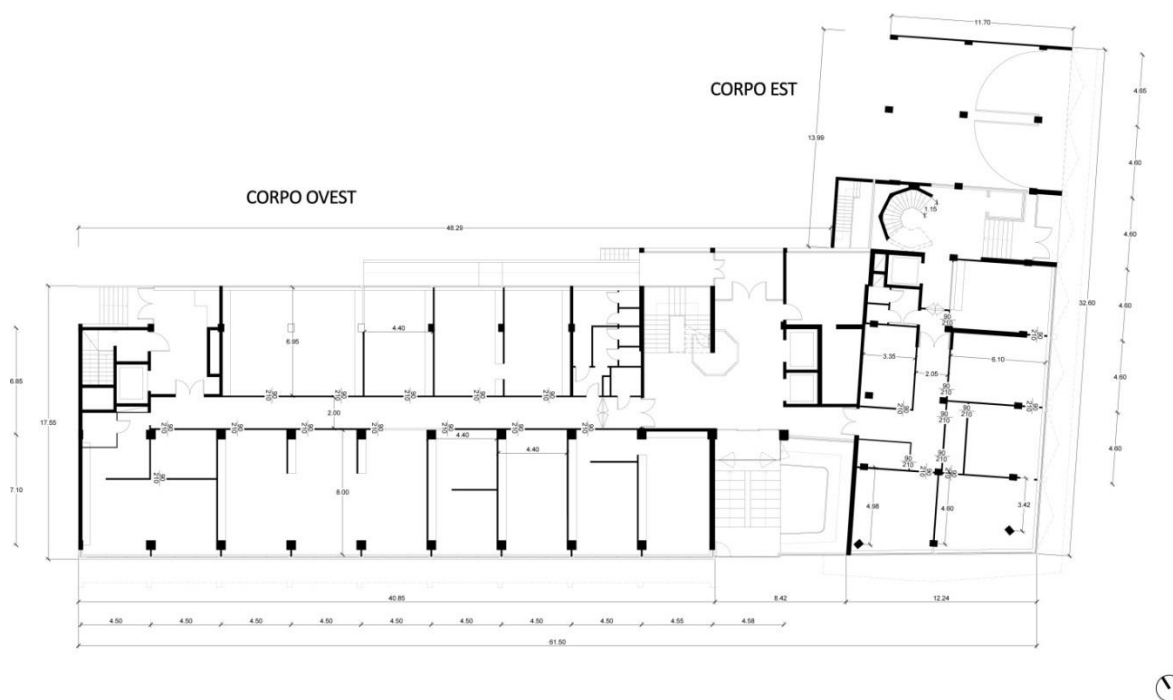


Figura 3.2: Pianta piano terra

Il CORPO OVEST ha forma rettangolare con dimensioni di pianta di circa metri 50 per 17 e un'altezza di 15,50 metri per quattro piani con il solaio di copertura calpestabile, sul quale appoggiano, oltre detta quota, i vani tecnici. L'intero fabbricato è sostenuto da una griglia portante formata da una maglia di 11 per 3 pilastri; fanno eccezione le due celle corrispondenti all'ingresso per il pubblico, che ospitano le scale e la rampa di accesso al piano terra. L'interasse tra gli 11 pilastri è pari a metri 4,50, mentre l'interasse tra i 3 fili è pari a metri 7,10 tra il primo e il secondo e 6,85 metri tra il secondo e il terzo. In entrambi i casi gli interassi rimangono costanti per tutti i quattro piani.

All'estremità ovest è collocato un blocco scale ascensore di servizio, con i relativi setti portanti, mentre le scale principali, come anche l'ascensore per il pubblico sono posizionati in corrispondenza dell'ingresso.

All'interno un corridoio centrale in direzione ovest-est costituisce il distributivo per gli uffici dislocati lungo i due lati maggiori del fabbricato. La superficie ad ufficio è divisa in modo regolare da pareti attrezzate che creano stanze rettangolari di larghezza di 4,40

metri. La funzione prevalente degli ambienti è quindi quella di ufficio, fatta eccezione per i servizi, posizionati in ogni piano nello stesso punto, ovvero a ridosso del setto in c.a. che porta la scala principale.

Nei piani superiori al primo, i solai sono in gran parte aggettanti, per circa 2,50 metri: su questi aggetti vengono traslate le pareti perimetrali in modo diversificato, movimentando il prospetto dell'edificio. I vani degli uffici traslano in funzione di questi spostamenti conservando complessivamente le dimensioni del piano terra.

I tamponamenti esterni sono costituiti da pannelli di muratura di spessore 30 cm, rivestiti in clinker e da superfici finestrate; fa eccezione il prospetto ovest, ovvero quello del timpano, che è prevalentemente cieco. Le parti vetrate del prospetto principale su via Sarpi sono schermate da frangisole metallici ad aste verticali. I serramenti sono a doppio vetro con telaio metallico.



Figura 3.3: Prospetto ovest su via Fra' Paolo Sarpi

Le partizioni interne sono ottenute con paretine in laterizio leggero di spessore 10 cm o con pareti attrezzate dello spessore del pilastro. Le opere di finitura interna comprendono il controsoffitto in doghe metalliche che maschera l'impianto di condizionamento e la pavimentazione in clinker o in ceramica.

Il CORPO EST ha pure pianta a forma rettangolare, di dimensioni pari a circa metri 12 per 33 e un'altezza di 19,00 metri per i 5 piani fino alla copertura a quattro falde a padiglione. Il fabbricato è composto da una griglia regolare portante di 3 per 8 pilastri, fatta eccezione per i 3 pilastri all'estremità sud, che non seguono la griglia. L'interasse tra gli 8 pilastri è pari a metri 4,60, mentre l'interasse tra i 3 fili è pari a metri 4,80, la griglia che si crea è quindi in questo caso composta da celle di forma quasi quadrata. Gli interassi rimangono costanti per tutti i cinque piani dell'edificio.

L'ingresso a questa ala dell'edificio, sempre rialzato a 1,10 metri, è collocato circa a metà del prospetto principale e in corrispondenza di esso si trovano le scale elicoidali. Il blocco scale-ascensore-bagni è costituito da setti in c.a. che si collegano a quelli del CORPO OVEST.

All'estremità nord, al piano terra, è situato l'ingresso ciclabile che occupa due celle della maglia formata dai pilastri; il resto della superficie è destinata a uffici, con lo stesso schema distributivo adottato con il corridoio centrale del corpo ovest. La superficie ad ufficio è divisa in modo regolare da pareti attrezzate, che vanno a creare stanze rettangolari di larghezza 4,40 metri.

Nei piani superiori al primo la suddivisione degli spazi risulta essere regolare con i vani degli uffici rivolti verso est, il corridoio centrale e i servizi (scale ascensore bagni ripostiglio) posizionati verso l'interno.

I tamponamenti esterni hanno le stesse caratteristiche di quelli descritti per il corpo ovest; si diversifica il prospetto principale che è formato da una linea spezzata di vetrate, la luce viene filtrata da un alternarsi di frangisole verticali in metallo bianchi e muratura alveolare a vista, che crea in facciata un gioco a scacchiera. Anche per le caratteristiche architettoniche dell'interno si fa riferimento alla descrizione relativa al corpo ovest.

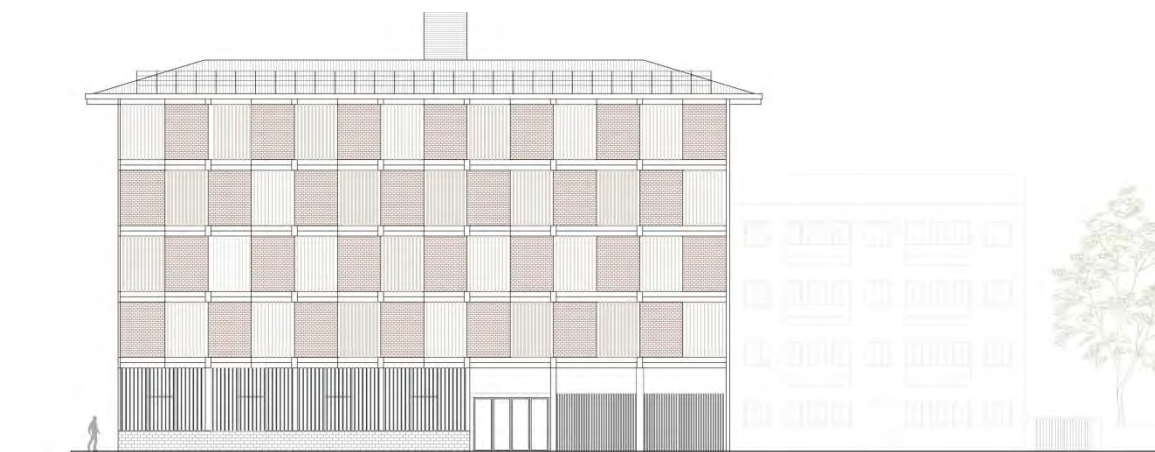


Figura 3.4: Prospetto est su via Fra' Giovanni Eremitano con ricostruzione del prospetto dell'edificio contiguo

Le tre scale, con struttura in c.a. ancorata ai setti laterali, si differenziano per la configurazione in pianta: le due appartenenti al corpo ovest sono a rampe lineari, mentre quella situata nel corpo est ha una particolare forma elicoidale probabilmente dovuta al ruolo di rappresentanza inizialmente assunto da quest'ala dell'edificio. Entrambi i corpi di fabbrica sono forniti di ascensori, collocati all'interno delle celle strutturali sopraccitate.

Si riportano le piante anche dei piani primo, secondo, terzo e quarto con i coni visuali e le relative fotografie numerate, che colgono alcuni punti significativi. Le immagini hanno permesso di comprendere la geometria e le caratteristiche degli elementi strutturali.

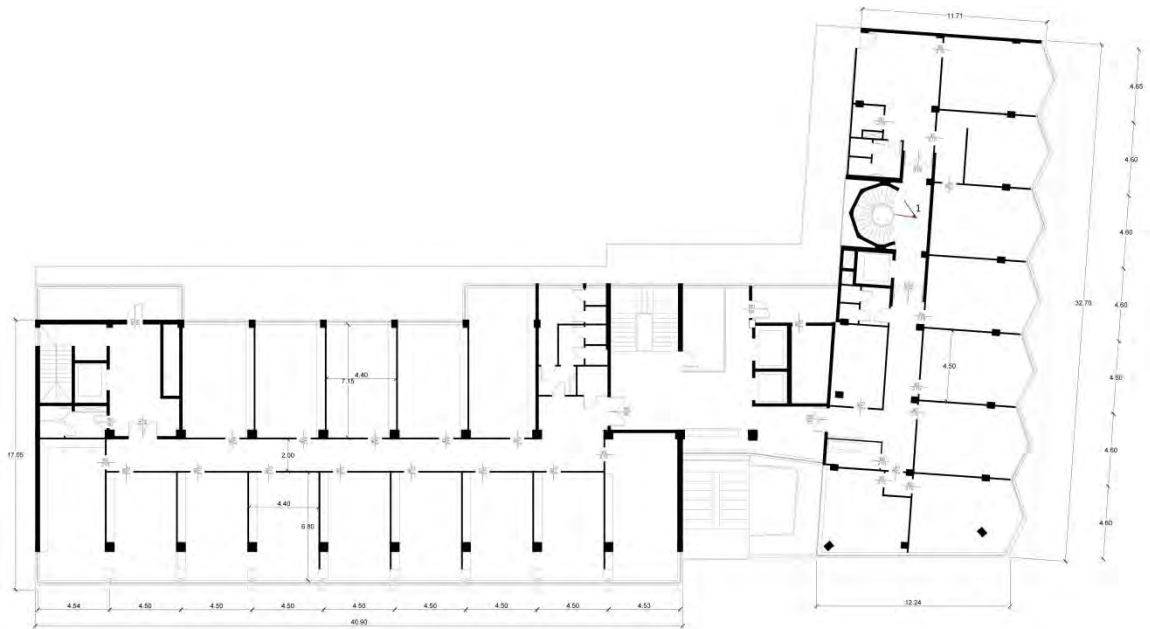


Figura 3.5: Pianta piano primo

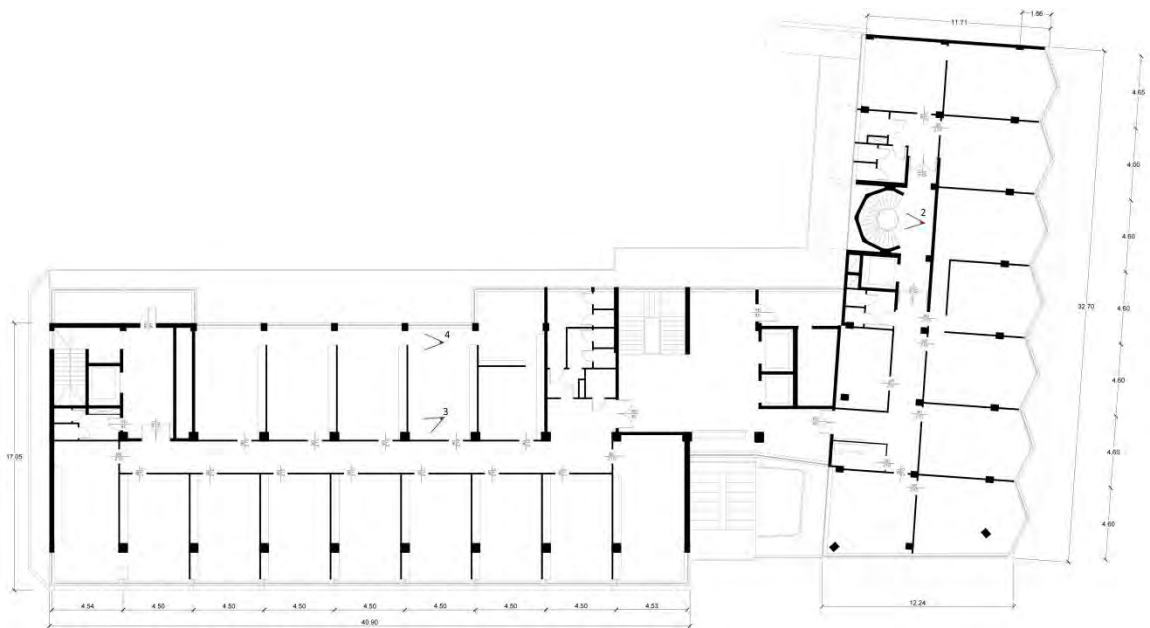


Figura 3.6: Pianta piano secondo

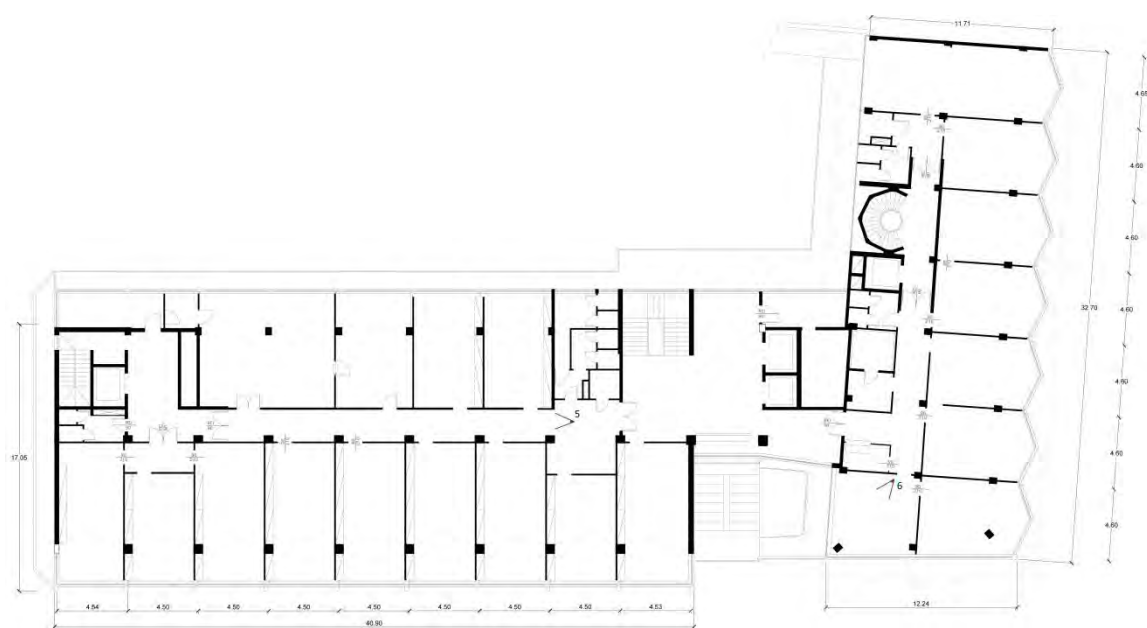


Figura 3.7: Pianta piano terzo

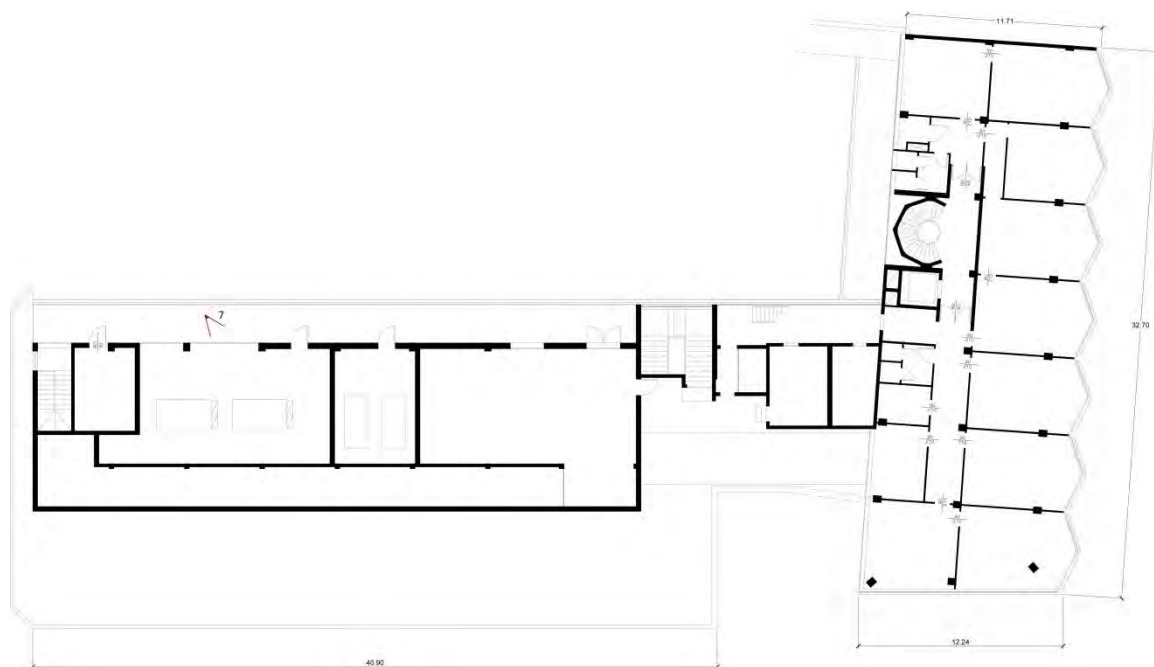
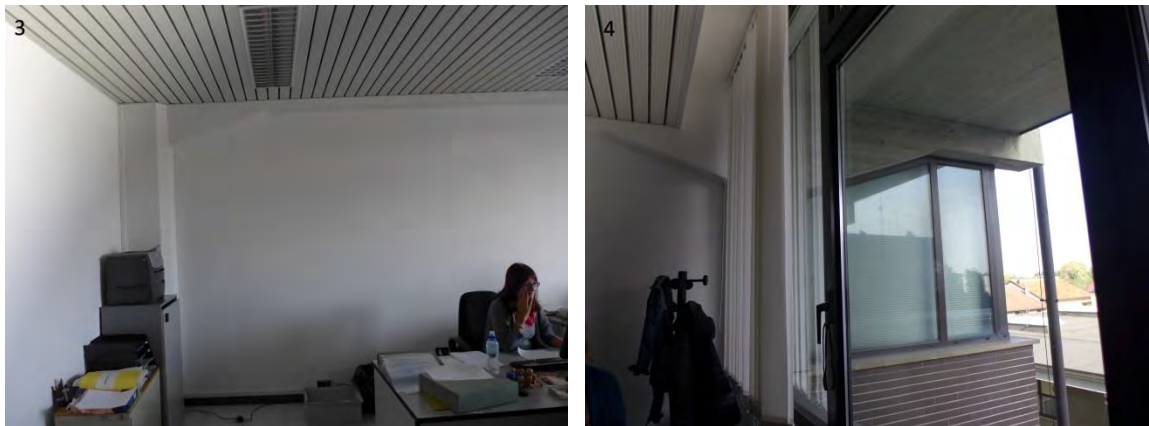


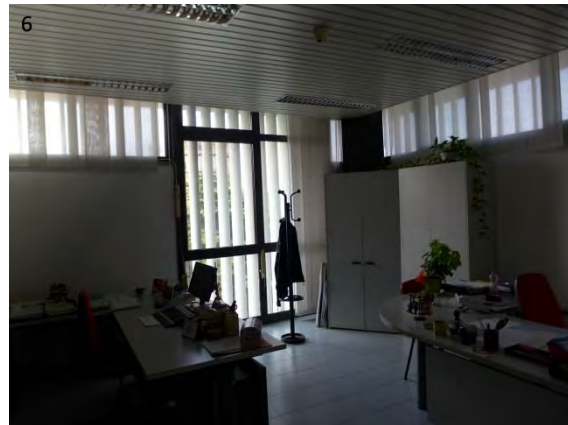
Figura 3.8: Pianta piano quarto



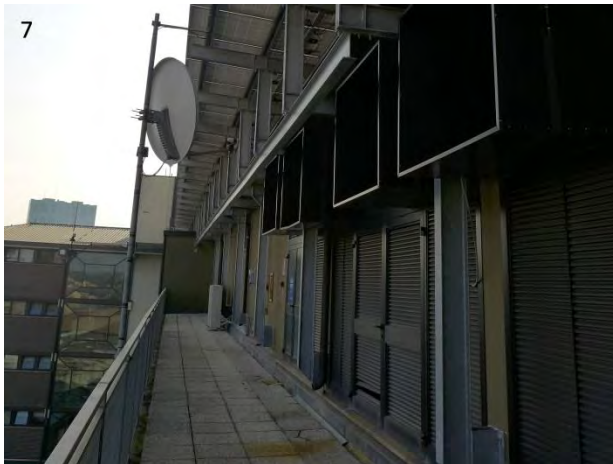
Le immagini 1 e 2 mostrano la particolare struttura della scala del corpo EST costituita da una soletta in cemento armato portata dai due setti laterali in cemento armato, la struttura centrale metallica va a creare il parapetto di sicurezza.



Le immagini 3 e 4 mostrano, in uno dei pochi punti visibili, la struttura pilastro-trave con l'aumentare della sezione della trave in modo lineare in corrispondenza dell'appoggio. In particolare dall'immagine 4 si può notare che i solai nella porzione aggettante sono costituiti da una soletta in c.a. a vista.



L'immagine 5 mostra un corridoio distributivo tipo con uffici in ambo i lati. L'immagine 6 documenta l'organizzazione tipo di una stanza adibita a ufficio, in particolare si tratta del vano posto all'estremità sud del corpo EST caratterizzata dalla rotazione dei pilastri d'angolo. Si nota che in tutto il fabbricato i solai non sono visibili, a causa della presenza di un controsoffitto continuo.



L'immagine 7 è stata riportata essendo significativa per quanto riguarda la copertura del corpo OVEST: mostra la presenza dei vani contenenti gli impianti tecnici con sopra posizionati i pannelli solari retti da una struttura metallica inclinata da nord a sud.

3.2- RILIEVO STRUTTURALE

La struttura è a telaio con pilastri, setti e travi in c.a. disposti secondo una maglia regolare.

Ai fini descrittivi si è convenuto di individuare i due corpi di fabbrica che compongono l'edificio rispettivamente come CORPO OVEST quello rivolto a ovest verso via Sarpi e come CORPO EST quello rivolto a est verso viale Codalunga. Ai fini della definizione delle strutture dei due edifici viene preso come elemento di delimitazione del corpo ovest rispetto al corpo est la linea passante 75 cm a ovest del filo D individuata in figura.

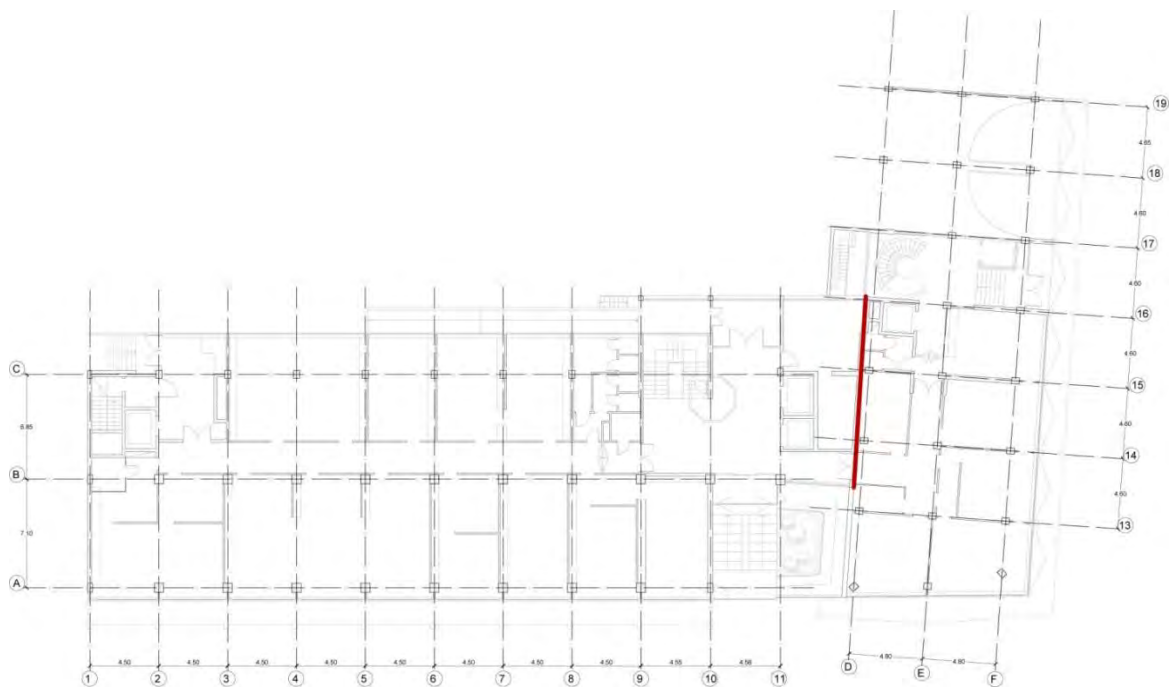


Figura 3.9: Pianta piano terra con assi dei pilastri che formano una griglia regolare

Il corpo O è costituito da 3 fili di 11 pilastri ciascuno, che si innalzano per 4 piani fuori terra, per un'altezza complessiva di 15,50 metri. Le strutture portanti principali sono quindi gli 11 telai a due campate disposti ortogonalmente agli assi orizzontali (numerati in figura 3.9 dall'1 all'11). Questo telaio è omogeneo e ripetitivo per quasi l'intera struttura, fanno eccezione i telai di testa (1,2 e 11) e il telaio 9 tra i fili B e C. In corrispondenza di questi si trovano delle strutture portanti a setti in c.a. a sostegno di vani scale e ascensori.

Nella direzione dei fili principali il collegamento tra i pilastri avviene tramite cordoli, sempre in c.a. Questa doppia maglia dà luogo infine a una griglia regolare, in cui ogni cella ha dimensioni 4,5 per circa 7 metri. I solai di piano in latero-cemento, compreso

quello di copertura (calpestabile e adibito attualmente a supporto per i vani tecnici e impiantistici e per i pannelli solari), sono disposti nella direzione della luce minore di 4,5 metri; sono costituiti da pignatte di spessore 20 cm e cappa in c.a. di 4 cm.

I pilastri dei fili A e B hanno dimensione 60x60 cm, quelli del filo C 40x50 cm, tranne i pilastri di testa (telaio 1), che hanno dimensioni minori 30x60; queste sezioni vengono conservate inalterate per l'intero sviluppo verticale; anche le sezioni dei setti verticali (di spessore 20, 25 e 30 cm) si conservano inalterate per tutta l'altezza.

Le travi dei telai portanti hanno sezione principale pari a cm 30x66 tra i fili A e B e 30x56 tra i fili B e C; dette sezioni di mezzeria rimangono costanti sia per ogni piano che per tutti i piani, comprese le parti aggettanti a mensola. Il nodo trave-pilastro è eseguito con la tecnica del raccordo a mensola con sezione rastremata: la sezione varia da quella di mezzeria e aumenta le sue dimensioni progressivamente all'avvicinarsi al punto d'incastro, dove l'altezza aumenta fino a un massimo di cm 100 nel punto di incastro, seguendo l'andamento del momento.

Lo schema statico di riferimento per la determinazione dei parametri di sollecitazione è quello di singolo telaio a due campate, con relative mensole alle estremità, incastrato alla quota di ciascun piano.

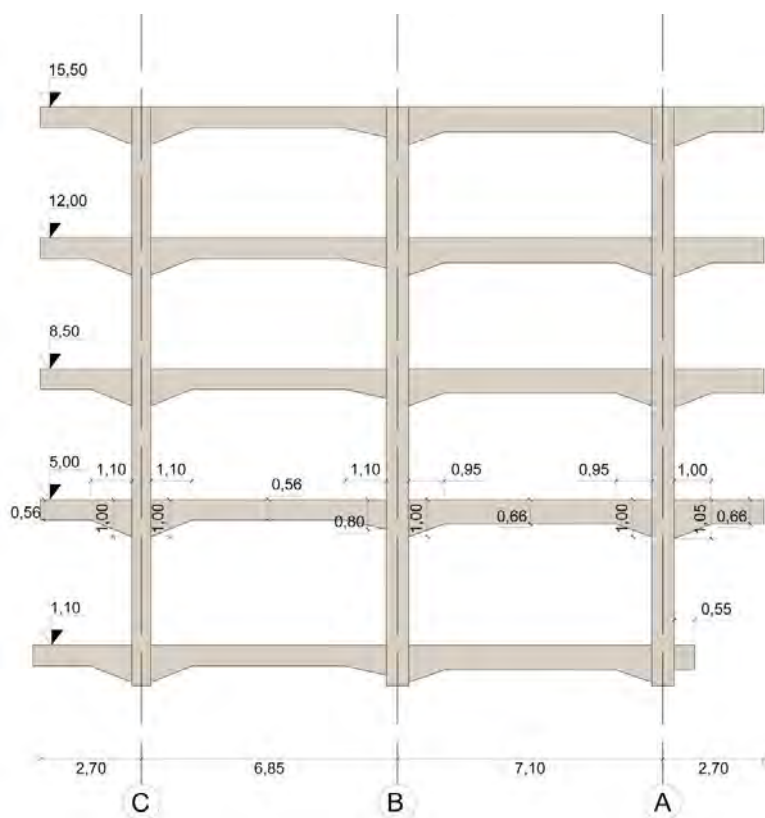


Figura 3.9: Telaio tipo corpo Ovest con riportati gli assi dei pilastri.

In base alla distribuzione dei solai sopradescritta, la determinazione dei carichi permanenti e accidentali viene attribuita in maniera totale alle travi e ai pilastri dei doppi portali citati.

Il corpo E è costituito da 3 fili di 8 pilastri ciascuno, che si innalzano per 5 piani fuori terra, per un'altezza complessiva di 19 m. Le strutture portanti principali sono quindi i 7 telai a due campate disposti ortogonalmente ai fili orizzontali (numerati in figura dal 13 al 19). Questo telaio è omogeneo e si ripete per quasi l'intera struttura; fanno eccezione i telai 16 e 17 tra i fili D ed E: in corrispondenza di questi si trovano delle strutture portanti a setti in c.a. a sostegno di vani scale e ascensori. come per il corpo O nella direzione dei fili principali il collegamento tra i pilastri avviene tramite cordoli, sempre in c.a.

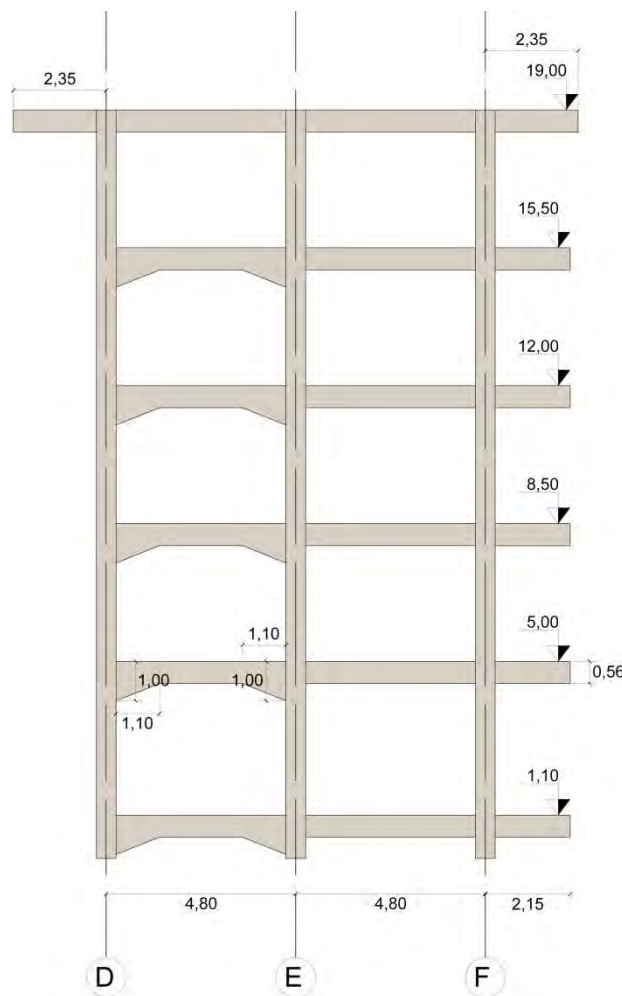


Figura 3.10: Telaio tipo corpo Est con riportati gli assi dei pilastri.

La doppia maglia di pilastri dà luogo infine a una griglia regolare in cui ogni cella ha dimensioni 4,6 per 4,8 metri. I solai di piano in latero cemento, sono disposti nella direzione della luce minore di 4,6 metri; sono costituiti da pignatte di spessore 20 cm e cappa in c.a. di 4 cm.

I pilastri hanno dimensione 50x40 cm fatta eccezione per i pilastri di testa (telaio 19) che hanno dimensioni minori: 30x50; queste sezioni vengono conservate inalterate per l'intero sviluppo verticale; anche le sezioni dei setti verticali (di spessore 20, 25 e 30 cm) si conservano inalterate per tutta l'altezza.

Le travi dei telai portanti hanno sezione principale pari a cm 30x56, questa sezione di mezzeria rimane costante sia per ogni piano che per tutti i piani comprese le parti aggettanti a mensola. Il nodo trave-pilastro è un normale incastro per quanto riguarda la campata tra i fili E ed F, mentre è eseguito con la tecnica del raccordo a mensola con sezione rastremata per le campate tra i file D ed E (la sezione varia da quella di mezzeria e aumenta le sue dimensioni progressivamente con l'avvicinarsi al punto d'incastro dove aumenta fino ad arrivare a 1 metro, seguendo l'andamento del momento).

Lo schema statico di riferimento per la determinazione dei parametri di sollecitazione è, come per il CORPO O, quello di singolo telaio a due campate con relative mensole alle estremità, incastrato alla quota di ciascun piano. In base alla distribuzione sopradescritta dei solai la determinazione dei carichi permanenti e accidentali viene attribuita in maniera totale alle travi e ai pilastri dei doppi portali citati.

3.3 - RILIEVO FOTOGRAFICO ESTERNO

Viene riportato il rilievo fotografico dell'esterno dell'edificio e degli elementi significativi circostanti.



Figura 3.11: Pianta della copertura con riportati i coni visuali delle immagini



Cap. 3 - Rilievo geometrico strutturale e fotografico





3.4 - ANALISI CRITICA DEL MANUFATTO: DEL DANNO, DEL DEGRADO E DELLA VULNERABILITA'

Nel corso dei sopralluoghi effettuati è stato possibile osservare che l'edificio non presenta evidenti segni di danno o degrado. Non sono presenti lesioni né superficiali né passanti negli elementi strutturali e nemmeno nei tamponamenti; non sono state riscontrate macchie di umidità all'interno dell'edificio. Probabilmente i lavori di riadattamento a sede degli uffici comunali, avvenuti negli anni '90, hanno contribuito al mantenimento delle buone condizioni dello stabile.

Anche i prospetti vertono in un buon stato di conservazione; il rivestimento in clinker dei pannelli murari non presenta un'alterazione cromatica evidente, come anche le superfici vetrate e i loro infissi.

Le parti strutturali in c.a., dove a vista, presentano un ottimo stato di conservazione, il calcestruzzo presenta un amalgama omogeneo; nei prospetti principali le fasce di solaio e i pilastri a vista sono protetti da scossaline in rame anche queste non presentano alcun segno di degrado. E' invece presente qualche macchia di umidità nei davanzali delle finestre rivolte a nord.

CRITICITA' E VULNERABILITA'

Sono state delineate le criticità e le vulnerabilità, riportate di seguito, sulla base dell'analisi svolta finora e delle evidenze riscontrate durante il sopralluogo.

Collegamento tra elementi strutturali

Dall'osservazione della configurazione planimetrica dell'edificio, riportata nello specifico con le misure dettagliate nel rilievo geometrico, si può osservare come la struttura si componga di due corpi disposti in modo da formare un angolo maggiore di 90 gradi. Il tracciamento degli assi dei setti portanti, nella zona di collegamento tra le due ali dell'edificio, permette di evidenziare l'angolo non retto che si crea tra i due corpi di fabbrica. Tale situazione può implicare un collegamento non efficace, che dovrebbe essere oggetto di indagine.

Dall'analisi storico-critica dell'edificio sono state evidenziate due fasi di costruzione prevalenti, sebbene vicine nel tempo; l'ammorsamento tra i pilastri esistenti e quelli costruiti nella fase successiva potrebbe non essere adeguato e pertanto si ritiene necessario inserire tale aspetto all'interno delle vulnerabilità.

Orizzontamenti

Non sono state riscontrate evidenze all'intradosso dei solai visibili; la gran parte dei solai interni però è nascosta da controsoffitto, non si può quindi escludere la possibilità di criticità negli orizzontamenti. In particolare si ritiene di dover valutare la situazione del solaio di copertura del corpo ovest, dove l'aggiunta dei vani tecnici e della struttura con i pannelli solari potrebbe aver causato problemi non riscontrati in precedenza.

Configurazione planimetrica

Come già sottolineato nell'analisi dei collegamenti strutturali, la configurazione in pianta risulta irregolare. L'assenza di un giunto sismico adeguato fra i due corpi di fabbrica determina la necessità di trattare l'edificio in modo unitario dal punto di vista dell'analisi sismica; tale configurazione può quindi essere motivo di effetti torsionali importanti a causa dell'eccentricità tra Centro di Massa e Centro di Rigidezza.

Edifici contigui

Il corpo est confina nella sua estremità settentrionale con un edificio multipiano visibile nei coni visuali numero 7 e 8 del rilievo geometrico. Si tratta di un condominio a quattro piani; la tipologia edilizia e i materiali impiegati fanno supporre che esso sia sostanzialmente coevo. I solai di piano e di copertura risultano essere sfalsati di un'altezza pari alla metà dell'interpiano rispetto a quelli di palazzo Sarpi. Questo fa pensare che l'edificio sia semplicemente accostato e non ammorsato. Tale considerazione sarebbe tuttavia da svolgere alla luce di un'approfondita analisi storico-critica che, nell'economia di questo lavoro e sulla base dei materiali rinvenuti, non è stata possibile. Si ritiene comunque di considerare come elemento di possibile criticità l'eventuale martellamento degli elementi strutturali dell'edificio contiguo in caso di sisma.

4 - PROGETTO SIMULATO

“Progetto simulato: serve, in mancanza dei disegni costruttivi originali, a definire la quantità e la disposizione dell’armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale o le caratteristiche dei collegamenti. E’ eseguito sulla base delle norme tecniche in vigore e della pratica costruttiva caratteristica all’epoca della costruzione.”¹

Nell’affrontare il progetto simulato si è ricorsi a una precisa metodologia che prevede per prima cosa l’individuazione dello schema strutturale sulla base del rilievo geometrico e dell’analisi strutturale compiute in precedenza; quindi, grazie alla caratterizzazione dei materiali e alla geometria dell’edificio, è stata effettuata l’analisi dei carichi. Questi ultimi sono stati applicati al modello di calcolo elaborato con il programma Straus7 in modo da determinare i parametri delle sollecitazioni agenti sui diversi elementi strutturali del fabbricato. Quindi seguendo le prescrizioni delle normative dell’epoca e utilizzando il metodo delle tensioni ammissibili sono state ricavate quantità e disposizione delle armature negli elementi strutturali di carpenteria nota.

¹ C8A.1.B.3 Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio: livelli di conoscenza

4.1. RIFERIMENTO NORMATIVO E METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

La norma di riferimento, vigente all'epoca di costruzione dell'edificio, è il Regio Decreto Legge n. 2229 del 16 novembre 1939 (R.D. 1939), *Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato*, che ha regolato le modalità di progettazione ed esecuzione delle costruzioni in c.a. per oltre trent'anni, fino alla entrata in vigore della legge n. 1086 del 5/11/1971 *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica* e dei relativi Decreti Ministeriali di attuazione; importante è in particolare la Circolare n. 1472 del 23 maggio 1957 del Ministero dei Lavori Pubblici, *Armature delle strutture in cemento armato*, per la determinazione delle caratteristiche tecniche dell'acciaio di quell'epoca. Era inoltre in vigore in quel periodo il Regio Decreto Legge n. 2105 del 22 novembre 1937 *Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti*.

4.1.1. METODO DI CALCOLO

Il progetto degli elementi resistenti avviene secondo il metodo delle tensioni ammissibili. Il metodo prevede che in tutti i punti della struttura la tensione agente sia inferiore alla tensione ammissibile:

$$\sigma \leq \sigma_{amm}. \quad [4.1]$$

Dall'analisi della struttura vengono determinati i valori dei parametri della sollecitazione e da questi si ottengono le tensioni massime agenti σ_{max} che vengono confrontate con quelle ammissibili ricavate dalla normativa σ_{amm} in fase di verifica. Un analogo ragionamento viene fatto per le tensioni tangenziali:

$$\tau \leq \tau_{amm}. \quad [4.2]$$

Con τ tensione tangenziale agente.

Per questo metodo non vengono applicati i coefficienti di sicurezza amplificativi alle azioni, come nel metodo agli stati limite, infatti in questo caso si procede assumendo l'ipotesi, per la deformazione dell'acciaio, di rimanere nel campo elastico della curva sforzo-deformazione.

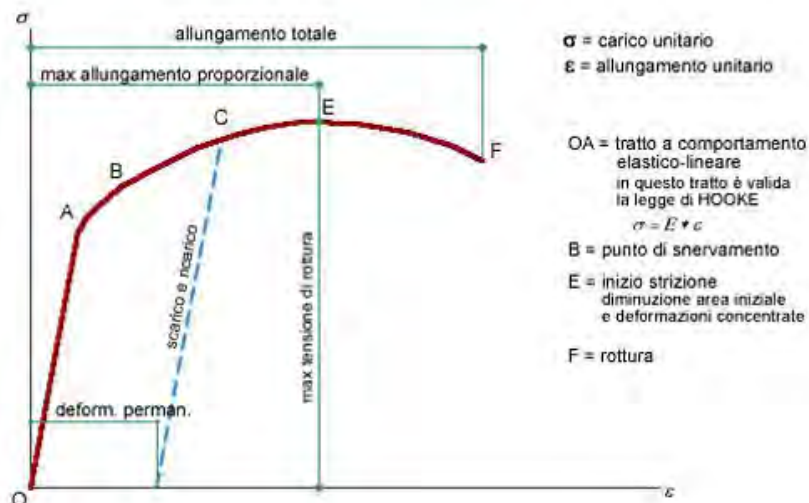


Figura 4.1: Curva sforzo deformazione per l'acciaio con evidenziati i punti significativi

Nello specifico il progetto delle armature è avvenuto considerando la flessione e il taglio per le travi e lo sforzo normale nei pilastri. Si è scelto di non tenere conto della pressoflessione nei pilastri dato che all'epoca era consuetudine non considerarla.

Il progetto dell'armatura longitudinale per le travi viene fatto con la formula semplificata, senza tenere conto, nella fase di progetto, della posizione dell'asse neutro ma solo del momento agente calcolato a partire dai carichi agenti e della tensione ammissibile di riferimento.

$$A_s = \frac{M}{0,9 h' \sigma_{amm,f}} \quad [4.3]$$

Dove A_s è l'area resistente dell'armatura longitudinale, M è il momento agente nella sezione, h' l'altezza utile della sezione considerata e $\sigma_{amm,f}$ la tensione ammissibile dell'acciaio.

Sono state fatte diverse prove utilizzando la formula semplificata e quella che invece tiene conto della posizione dell'asse neutro :

$$A_s = t\sqrt{Mb} \quad [4.4]$$

In cui t e b sono dei parametri che tengono conto della posizione dell'asse neutro in funzione delle tensioni ammissibili di calcestruzzo e acciaio, vengono determinati usando le tabelle presenti in tutti i prontuari dell'epoca (Santarella², LeMonnier³) e M è il momento agente.

Constatando che la variazione media tra i risultati ottenuti utilizzando le due diverse formule è minima risulta giustificata la scelta di utilizzare la formula semplificata.

Nella fase di verifica viene invece determinata la posizione dell'asse neutro sulla base dell'area di armatura calcolata, e vengono poi svolte le verifiche utilizzando per calcolare le tensioni massime, rispettivamente per il calcestruzzo e per l'acciaio, le formule,:

$$\sigma_{c,max} = \frac{2M}{by\left(h' - \frac{y}{3}\right)} \quad [4.5]$$

$$\sigma_{a,max} = \frac{M}{A_{s,d}\left(h' - \frac{y}{3}\right)} \quad [4.6]$$

Dove M è il momento agente, b e h' rispettivamente la base e l'altezza utile della sezione considerata e y l'altezza dell'asse neutro.

Per quanto riguarda l'armatura a taglio è stata calcolata la tensione tangenziale massima del calcestruzzo con la formula:

$$\tau = \frac{T}{0,9 h' b} \quad [4.7]$$

Con T taglio agente e b e h' rispettivamente base e altezza utile della sezione. Quindi, nelle sezioni in cui questa tensione risulta minore di quella prevista da normativa, è stata predisposta l'armatura minima mentre nelle sezioni in cui risulta necessaria specifica armatura a taglio è stato calcolato un diverso passo delle staffe come spiegato al §4.5.1, si è inoltre tenuto conto della

² L. Santarella, *Prontuario del cemento armato*, XXVI ed., 1968.

³ *Prontuario per il calcolo di elementi strutturali*, ed. Le Monnier, stampa 1978

presenza dei ferri piegati attraverso un'ipotesi di distribuzione degli stessi a partire dalla quantità e disposizione dell'armatura longitudinale.

L'armatura longitudinale nei pilastri è stata calcolata a partire dalla prescrizione normativa che prevedeva un'area resistente dei ferri d'armatura non inferiore allo 0,8% dell'area strettamente necessaria, ovvero quella ottenuta a partire dallo sforzo normale agente, considerato di sola pressione come indicato dal R.D. 1939. Dopo aver determinato l'armatura di progetto si procede con la verifica alle tensioni ammissibili che in questo caso prevede il calcolo della tensione massima con la formula che rende l'area dell'acciaio omogenea a quella del calcestruzzo tramite il coefficiente di omogeneizzazione n :

$$\sigma_{c,max} = \frac{N}{A+(nA_{s,d})} \quad [4.8]$$

Dove N è lo sforzo normale agente nel baricentro geometrico della sezione, A è l'area complessiva della sezione e $A_{s,d}$ è l'area resistente dell'armatura di progetto.

4.1.2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

L'analisi della risposta delle strutture è largamente influenzata dai parametri meccanici associati ai materiali costituenti, in questo caso calcestruzzo e acciaio. Si intuisce, di conseguenza, quanto sia importante per le strutture esistenti una definizione il più possibile accurata di questi parametri. A questo scopo, le vie percorribili possono seguire diversi metodi di indagine che possono essere strumentali o visive, molto invasive o meno invasive e fornire informazioni qualitative o quantitative sulla struttura. Quando, invece, non si può disporre di nessuna di queste indagini, per motivi di tempi, costi o in quanto non sono giustificabili per lo scopo dello studio, le caratteristiche dei materiali possono essere valutate solo tramite indagine visiva, limiti normativi e rifacendosi a progetti analoghi e contemporanei in cui le caratteristiche dei materiali sono note.

Nelle NTC del 2008, al capitolo sulle costruzioni esistenti, si trova scritto che *“Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche. (...) I valori delle resistenze meccaniche dei materiali*

*vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni. La conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo della omogeneità dei materiali stessi all'interno della costruzione, del livello di approfondimento delle indagini conoscitive e dell'affidabilità delle stesse.*⁴

Calcestruzzo

La configurazione della struttura ha permesso di osservare le travi e i pilastri in c.a. a vista nei prospetti esterni come anche l'intradosso dei solai in c.a. delle mensole costituenti le terrazze sul cortile interno. L'indagine visiva denota un'ideale dimensione granulometrica e distribuzione degli inerti rilevabile dalla compattezza e omogeneità dell'impasto. Tutti gli elementi resistenti vertono in un ottimo stato di conservazione e non presentano di segni di degrado come macchie di umidità o lesioni superficiali.

Il R.D. 1939/2229 prescriveva nel caso di pressione semplice una resistenza cubica media a 28 giorni di almeno 120 kg/cm^2 per conglomerato cementizio idraulico o portland, 160 kg/cm^2 per conglomerato cementizio ad alta resistenza o alluminoso fino a un massimo di 180 kg/cm^2 “quando sia eseguita la determinazione preventiva della resistenza cubica a 28 gg. e questa venga costantemente controllata durante l'esecuzione dei lavori”; nel caso di flessione o pressoflessione la resistenza cubica media a 28 giorni prevista era di almeno 120 kg/cm^2 per conglomerato cementizio idraulico o portland, 160 kg/cm^2 per conglomerato cementizio ad alta resistenza o alluminoso e massimo 225 kg/cm^2 nel caso di una verifica dei valori in corso d'opera.

Ammette comunque la possibilità di superare tali limiti quando “il calcolo sia eseguito secondo i metodi della scienza delle costruzioni e sia tenuto conto di tutte le cause di sollecitazione (forze applicate, variazioni termiche e ritiro del conglomerato)”.

Considerata l'epoca di costruzione dell'edificio in oggetto, la buona qualità apparente degli elementi resistenti, la destinazione d'uso dell'edificio, l'evoluzione delle qualità tecniche dei materiali e del livello di progettazione strutturale durante gli anni di costruzione dell'edificio, si ritiene di poter avvalersi della possibilità prima citata di

⁴ cap 8.5.3 caratterizzazione meccanica dei materiali

superare i limiti di resistenza cubica standard, attribuendo quindi al conglomerato cementizio una R_{ck} di 250 kg/cm^2 .

In base a questo di è determinata una $\sigma_{c,amm}$ di $77,8 \text{ kg/cm}^2$, che soddisfa l'indicazione della normativa di avere tensione ammissibile pari a un terzo di quella di rottura.

$$\sigma_{c,amm} = 75 + \frac{R_{ck} - 225}{9} = 77,8 \text{ kg/cm}^2 \quad [4.9]$$

Con R_{ck} resistenza cubica media a 28 giorni del calcestruzzo.

I calcoli successivamente svolti si basano su queste ipotesi, un'indagine in situ e delle prove in laboratorio successive potrebbero confermare i valori considerati ma anche determinare migliori caratteristiche del conglomerato. In questo elaborato si è preferito attenersi a un valore relativamente modesto (sebbene elevato per la normativa vigente all'epoca della realizzazione) a favore della sicurezza.

Acciaio

Non è stato possibile effettuare indagini specifiche sulle caratteristiche dell'acciaio di armatura. Per la determinazione dei parametri di tensione si fa riferimento alle maniere d'uso dell'epoca illustrate dal grafico riportato e alla normativa vigente.

Il R.D.L. 16 novembre 1939 introduce una classificazione delle armature da utilizzarsi nei conglomerati armati e costituita in particolare, da acciaio dolce, semiduro o duro. Le tre tipologie di acciai si distinguono per le diverse caratteristiche meccaniche e per il differente carico di sicurezza da adottarsi nella progettazione, variabile tra i 1400 e 2000 kg/cm^2 ; in particolare, il carico di sicurezza risulta dipendente non solo dalla tipologia di acciaio ma anche dalla resistenza del calcestruzzo e dalla forma della sezione trasversale dell'elemento strutturale.

Durante il periodo di vigenza del R.D.L. 16 novembre 1939 sono state emanate diverse circolari rispondenti alle necessità del momento. In particolare la Circolare n. 1472 del 23 maggio 1957 del Ministero dei Lavori Pubblici, *Armature delle strutture in cemento armato*, afferma che possono essere impiegati per le barre in tondo soltanto acciai Aq. 42, Aq. 50, Aq. 60, per le barre in tondo la tensione ammissibile non deve superare il 50%

della tensione di snervamento e comunque essere inferiore o uguale ai valori di 1400 kg/cm², 1600 kg/cm², 1800 kg/cm² rispettivamente.

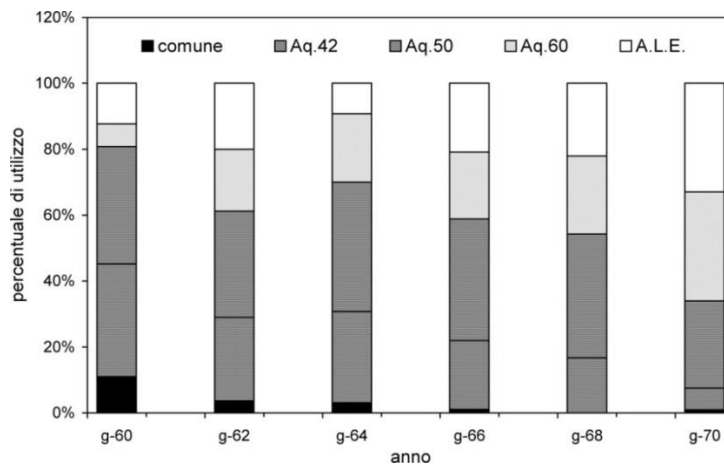


Figura 4.2: percentuale di utilizzo di determinate tipologie di acciaio d'armatura in funzione dell'anno.⁵

Nel caso dell'edificio oggetto di studio si ipotizza sia stato utilizzato acciaio di armatura a barre tonde lisce Aq. 50, con $\sigma_{a,amm} = 1600 \text{ kg/cm}^2$, corrispondente all'attuale Fe B 32 k.

⁵ Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate negli anni '60, G.M. Verderame, A. Stella, E. Cosenza, *Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II*

4.2 - DEFINIZIONE DELLO SCHEMA DI CALCOLO

Lo schema di calcolo adottato è quello di telaio costituito da doppi portali sovrapposti, coassiali, per 4 piani nel corpo ovest e 5 piani nel corpo est. Ciascuno di questi portali doppi ha struttura verticale costituita da pilastri e struttura orizzontale da trave continua su tre appoggi con mensole di estremità. Il vincolo tra trave e pilastro è un incastro nella maggior parte dei casi rinforzato ai nodi tramite l'aumento progressivo della sezione resistente delle travi con l'avvicinarsi all'appoggio. L'ultima trave di ogni telaio costituisce l'elemento portante del solaio di copertura che per il corpo ovest è di tipo piano con successiva aggiunta di vani tecnici, per il copro est è a padiglione sorretto da muretti e tavelloni su solaio piano. Si suppone che anche alla base di ciascun telaio i pilastri siano vincolati a terra con un incastro. Questo schema si ripete per 11 più 7 volte nelle due parti dell'edificio che si suppone siano divise e autonome dal punto di vista strutturale grazie a un giunto di dimensione ipotizzata 2-3 cm, evidenziato in rosso nell'immagine. I telai si dispongono in direzione ortogonale alla dimensione prevalente dei due rettangoli di pianta e sono stati numerati dall'1 al 18 ai fini pratici dell'analisi.

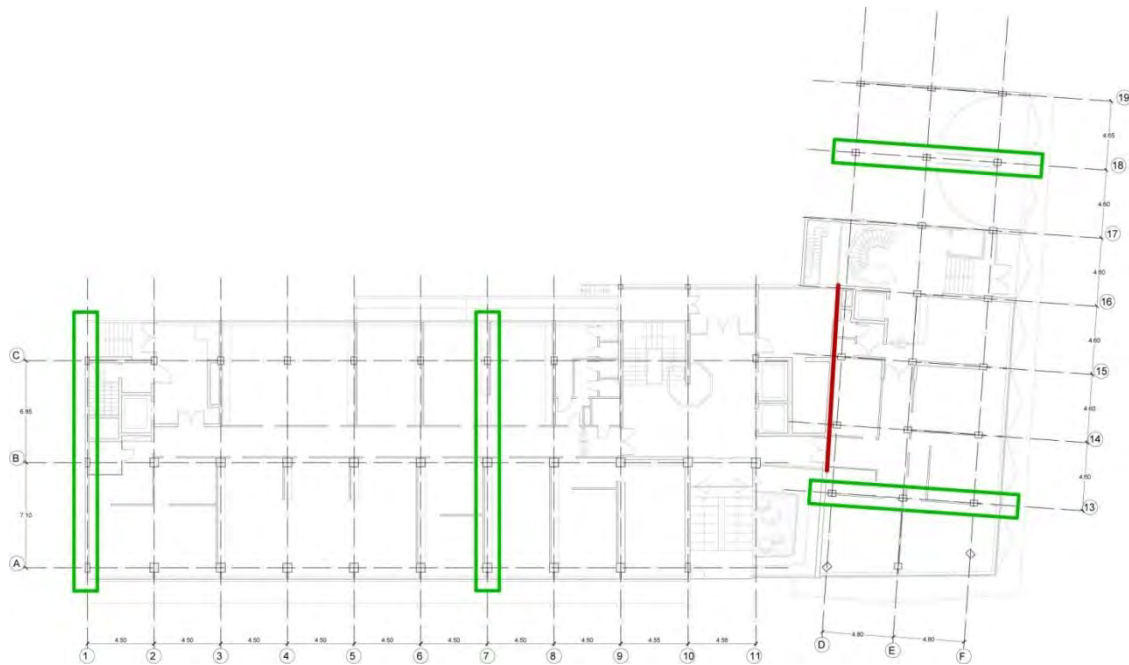


Figura 4.3: Pianta piano terra con riportati gli assi dei pilastri ed evidenziati i telai tipo scelti.

I setti portanti e i relativi vani scale e ascensore sono stati considerati come elementi autonomi rispetto ai telai adiacenti per quanto riguarda le azioni dei carichi verticali, infatti scaricano le azioni direttamente in fondazione.

Dei 18 telai ne sono stati scelti in particolare quattro (vedi figura 4.3), due del corpo ovest e due del corpo est, su cui svolgere il progetto delle armature, evidenziati in verde nell'immagine. La scelta è stata calibrata sia in funzione dei carichi sia in modo da coprire il più possibile le tipologie di telaio esistenti e di carichi gravanti.

Il telaio 1 è stato scelto perché è uno dei due telai di testa e anche quello con il rapporto carichi / area delle sezioni degli elementi resistenti, più alto. Inoltre la sua collocazione di estremità e la ridotta sezione dei pilastri può costituire un elemento debole da valutare nella successiva analisi sismica

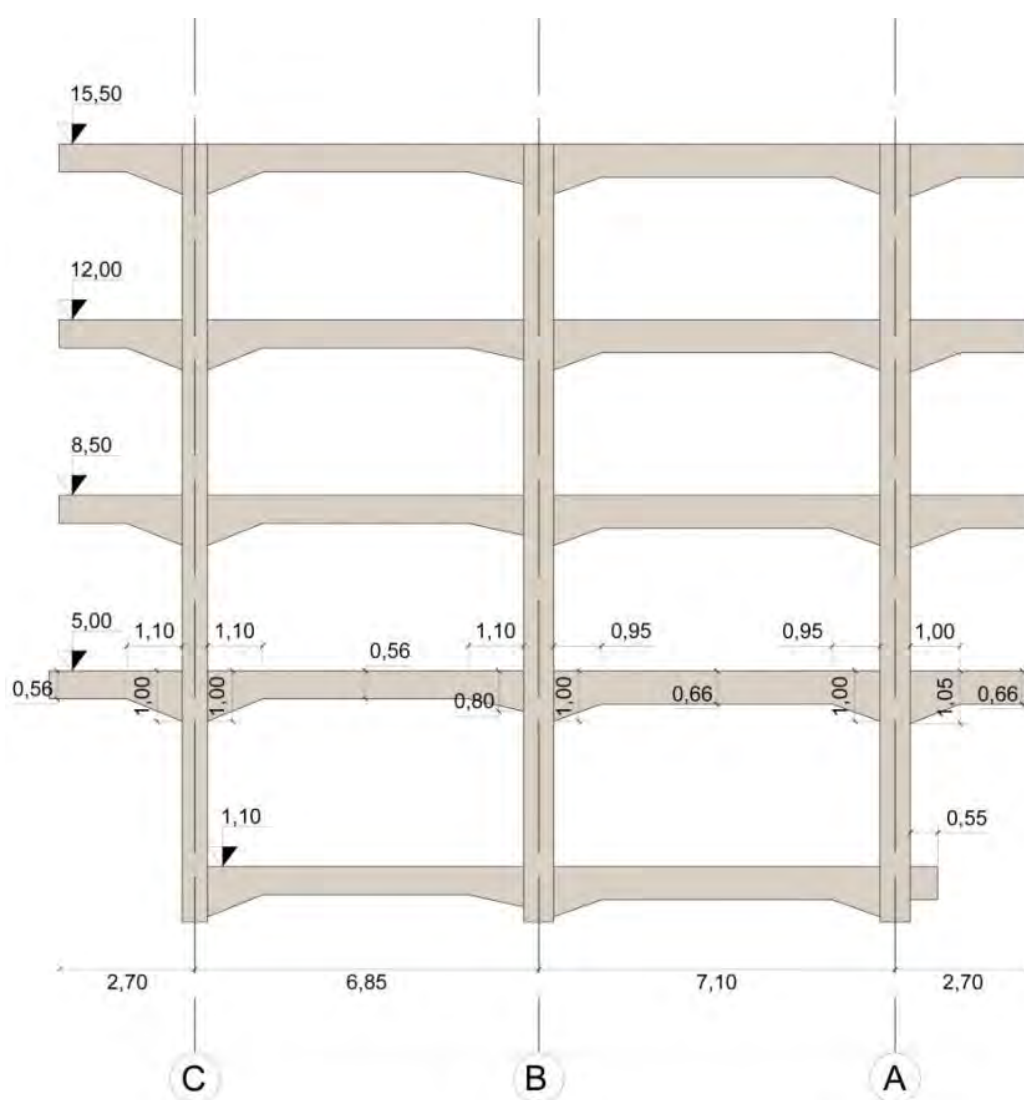


Figura 4.4: rappresentazione grafica della sezione longitudinale del telaio 1 con quote geometriche degli elementi resistenti.

Il telaio 7 è stato scelto perché si può considerare il telaio tipo del corpo ovest.

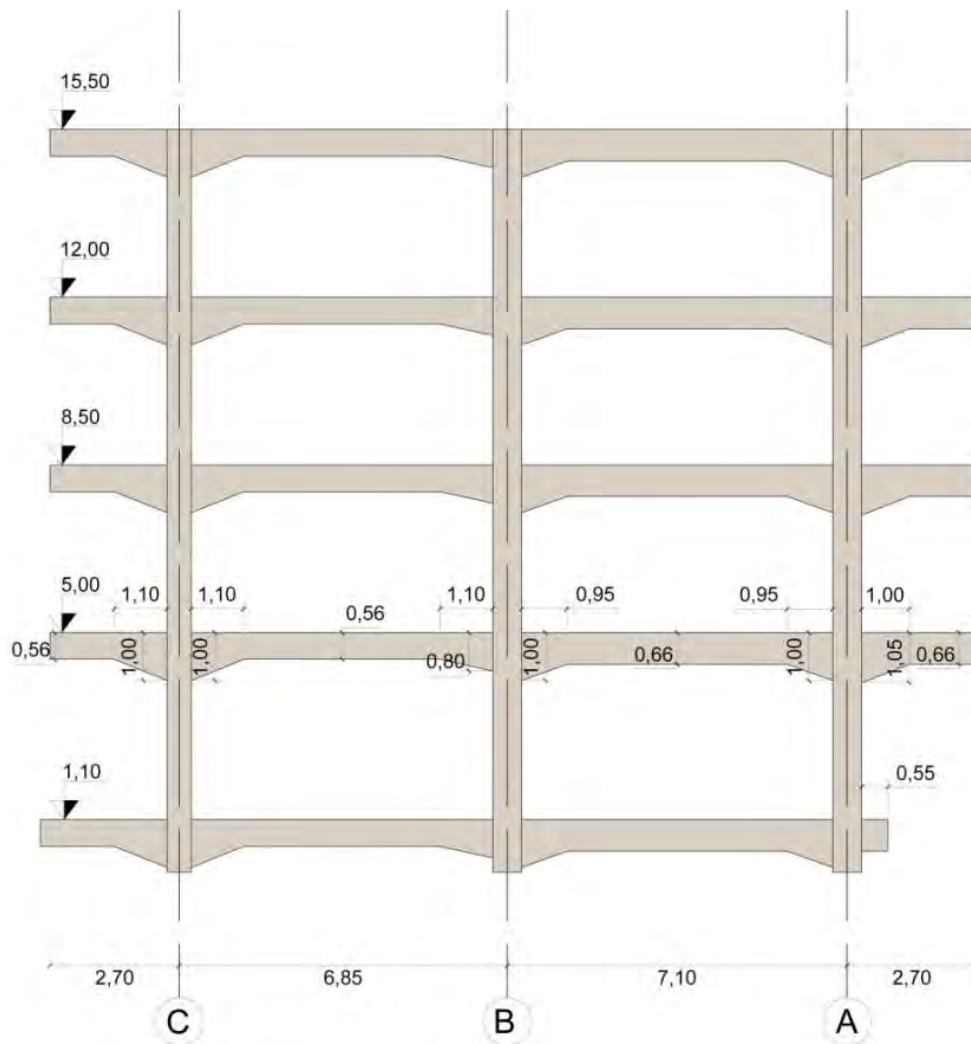


Figura 4.5: rappresentazione grafica della sezione longitudinale del telaio 7 con quote geometriche degli elementi resistenti.

Il telaio 13 è stato scelto perché è il telaio tipo del corpo est nonché uno di quelli maggiormente caricati non avendo vani scale e ascensori autoportanti nell'area di sua influenza.

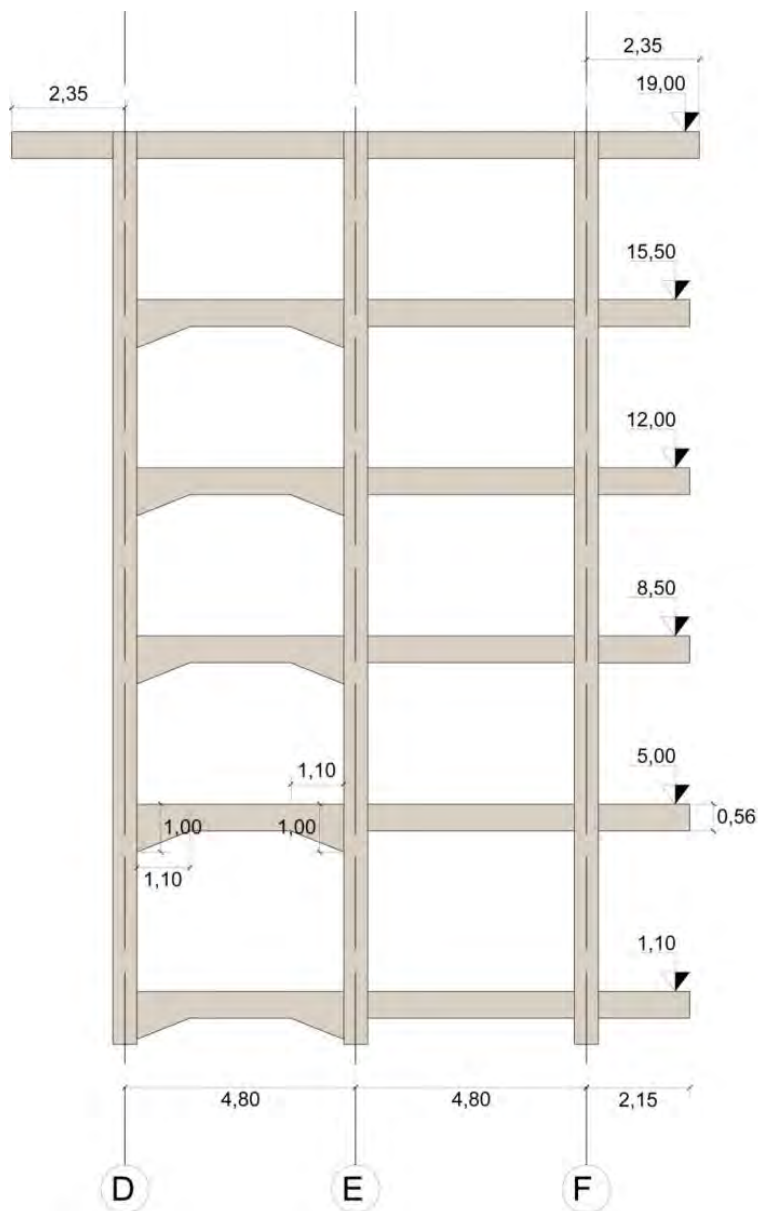


Figura 4.6: rappresentazione grafica della sezione longitudinale del telaio 13 con quote geometriche degli elementi resistenti.

Il telaio 17 è stato scelto perché ha un'anomalia tipologica dovuta all'assenza del primo solaio fuori terra a 1,10 m e conseguente assenza della prima trave che interrompe l'altezza libera del pilastro. In questo telaio infatti i pilastri del piano terra raggiungono l'altezza di 5,00 metri, elemento considerato da approfondire nella successiva analisi sismica.

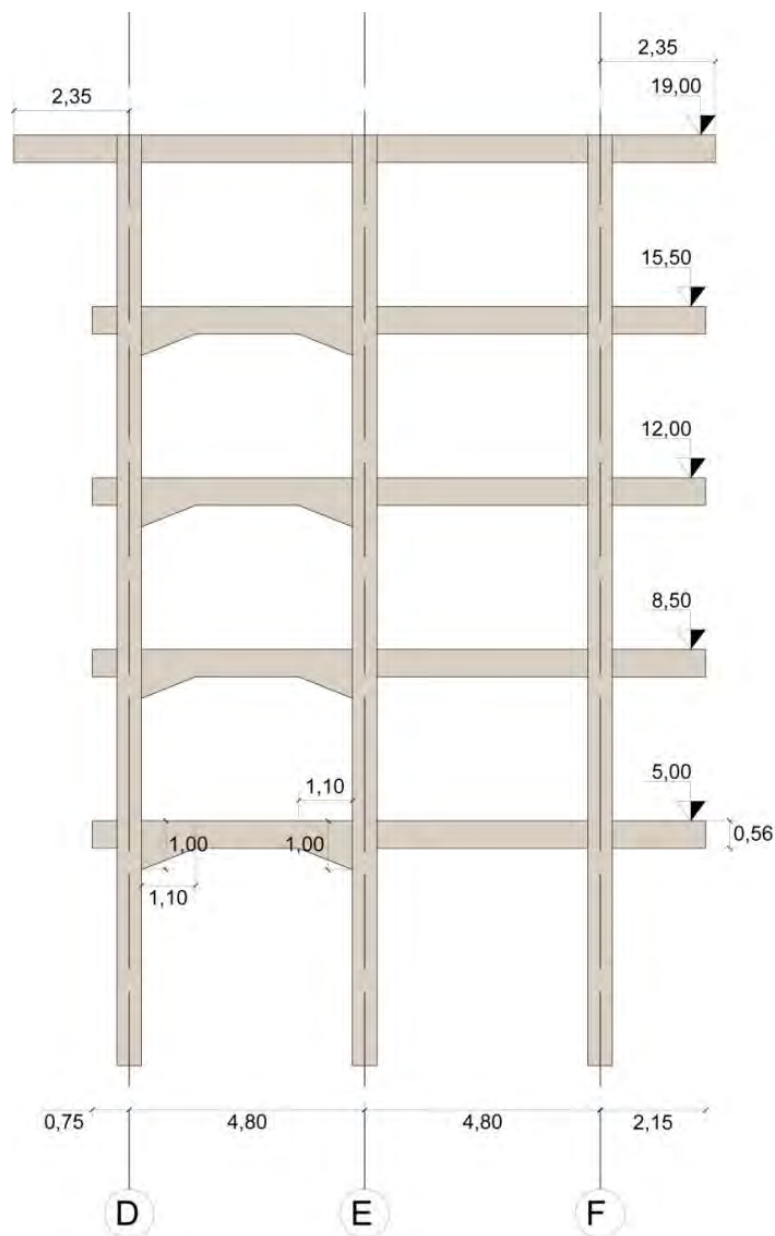


Figura 4.7: rappresentazione grafica della sezione longitudinale del telaio 17 con quote geometriche degli elementi resistenti.

Sono stati comunque determinati i carichi distribuiti agenti su tutti i telai costituenti l'edificio in modo da poter applicare i carichi completi al modello di calcolo il quale quindi ha fornito i parametri della sollecitazione per tutti i telai. Nella fase di dimensionamento delle armature sono stati utilizzati i valori corrispondenti ai quattro telai selezionati dei quali si riporta successivamente l'ipotesi di armatura sulla base della normativa vigente.

4.3 - DETERMINAZIONE DEI CARICHI

In accordo con le prescrizioni del R.D. 1939 l'analisi è stata svolta facendo riferimento alle condizioni più sfavorevoli di carico. Sono state considerate le azioni derivanti dai pesi propri degli elementi strutturali (pilastri, travi, cordoli, setti in c.a., solai in latero cemento e solette in c.a., travi di copertura), dai carichi permanenti portati (tamponamenti e serramenti, pavimentazioni, controsoffitti, rivestimenti, impiantistica, elementi architettonici e vani tecnici in copertura), dai carichi accidentali di solaio (affollamento per uffici, deposito per magazzino industriale) e dal carico dovuto all'azione della neve in copertura come previsto dalla normativa.

Si è deciso di utilizzare come unità di misura il kN come indicato dalla normativa oggi vigente in quanto i carichi sono rimasti in gran parte gli stessi e saranno quindi utilizzati anche nella fase di verifica secondo NTC. Per praticità si effettua il passaggio a kg nel momento in cui viene applicato il metodo delle tensioni ammissibili.

PESO PERMANENTE ELEMENTI STRUTTURALI E SOVRACCARICO PERMANENTE

Il peso proprio di pilastri, travi, setti e cordoli di collegamento viene automaticamente computato dal programma di calcolo in base alla geometria e alle caratteristiche dei materiali inserite.

Peso proprio solai:

- | | |
|--|------------------------|
| - Solaio in latero cemento sp. 20+4 cm | 2,9 kN/m ² |
| - Solaio in c.a. sp. 15 cm | 3,75 kN/m ² |

Sovraccarico permanente:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| - Pavimento e divisori interni | 1,0 kN/m ² |
| - Scale in c.a. | 7,5 kN/m ² |

| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| - Pannelli solari | 1,5 kN/m ² |
| - Vani tecnici in copertura | 3,5 kN/m ² |
| - Copertura muretti e tavelloni | 3,2 kN/m ² |
| - Muratura piena pareti di testa | 4,8 kN/m ² |

Sovraccarico scale in c.a.:

peso soletta in c.a.: $25 \text{ kN/m}^3 * 0,22\text{m} = 5,5 \text{ kN/m}^2$

sovraccarico permanente (ringhiera + pavimento): 2 kN/m^3

TOTALE = $7,5 \text{ kN/m}^3$

Per quanto riguarda la copertura del corpo ovest sono stati costruiti dei vani per lo stanziamento degli impianti tecnici e posizionato un numero significativo di pannelli solari durante la fase di adattamento a sede degli uffici comunali nei primi anni '90. Si è ritenuto di tenere conto anche di questi carichi come pesi aggiuntivi per il solaio di copertura nonostante non fossero inseriti nel progetto iniziale del 1960.

Sono stati inoltre calcolati i pesi di 6 tipologie di tamponamento, variamente disposti, incidenti sulle mensole in c.a. alle estremità dei telai. Questi carichi al metro quadrato vengono poi moltiplicati per l'altezza della parete e ottenuto un peso al metro lineare viene successivamente applicato al solaio in c.a. trasformandolo in carico distribuito sulla mensola dividendo per la profondità di questa.

1. Muro pieno sp. 30 cm

-Clinker, sp. 1 cm:

$$21 \text{ KN/m}^3 * 0,01\text{m} = 0,21 \text{ kN/m}^2$$

-Bimattone, sp. 18 cm:

$$14 \text{ KN/m}^3 * 0,18\text{m} = 2,52 \text{ kN/m}^2$$

-Isolamento in lana di roccia, sp. 3 cm:

$$1,1 \text{ KN/m}^3 * 0,03\text{m} = 0,03 \text{ kN/m}^2$$

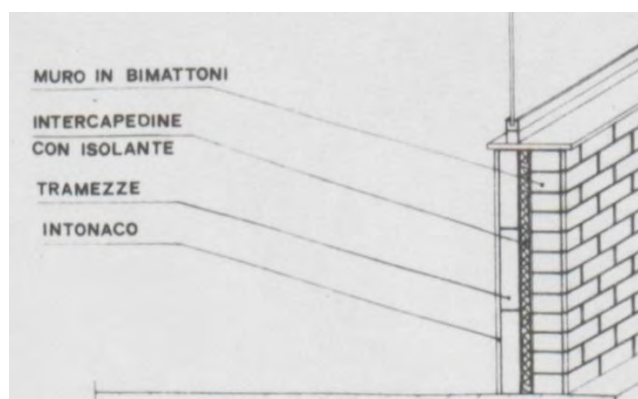


Figura 4.8: dettaglio costruttivo muro pieno

-Mattoni forati, sp. 6cm:

$$11 \text{ kN/m}^3 * 0,06\text{m} = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

-Intonaco, sp. 1,5cm:

$$2,2 \text{ kN/m}^3 * 0,015\text{m} = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{TOTALE} = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

2. Parete vetrata

Vetro doppio, sp. 0,006 m :

$$24 \text{ kN/m}^3 * 0,006\text{m} * 2 = 0,29 \text{ kN/m}^2$$

Serramenti in alluminio (hp : sezione serramento 0,0024 m²) :

$$26 \text{ kN/m}^3 * 0,0024 \text{ m}^2 = 0,06 \text{ kN/m} \text{ (peso di un metro di profilo di serramento)}$$

$$0,06 \text{ kN/m} * 2 \text{ m (ogni metro quadrato di parete)} = 0,12 \text{ kN/ m}^2$$

$$\text{TOTALE} = 0,29 + 0,12 = 0,41 \text{ kN/m}^2$$

3. Parete vetrata con frangisole e muro alveare

Vetro doppio, sp. 0,006 m :

$$24 \text{ kN/m}^3 * 0,006\text{m} * 2 = 0,29 \text{ kN/m}^2$$

Serramenti in alluminio (hp : sezione serramento 0,0024 m²) :

$$26 \text{ kN/m}^3 * 0,0024 \text{ m}^2 = 0,06 \text{ kN/m} \text{ (peso di un metro di profilo di serramento)}$$

$$0,06 \text{ kN/m} * 2 \text{ m (ogni metro quadrato di parete)} = 0,12 \text{ kN/ m}^2$$

$$\text{Muro ad alveare: } 2,2 \text{ kN/m}^2 * 1/2 = 1,10 \text{ kN/m}^2$$

Frangisole in acciaio (sezione rettangolare cava di 20*2cm e altezza 2m, disposti 5 ogni metro):

$$78,5 \text{ kN/m}^3 * 0,0009 \text{ m}^2 * 5/\text{m} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$0,4 \text{ kN/m}^2 * 1/2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{TOTALE} = 0,29 + 0,12 + 1,10 + 0,2 = 1,71 \text{ kN/m}^2$$

4. Parete con muro pieno e fascia superiore vetrata

Muro pieno, sp. 30 cm per 2/3 dell'altezza

$$3,75 \text{ kN/m}^2 * 2/3 = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

Vetro doppio, sp. 0,006 per 1/3 dell'altezza

$$0,29 \text{ kN/m}^2 * 1/3 = 0,10 \text{ kN/m}^2$$

Serramenti in alluminio (hp : sezione serramento 0,0024 m²) per 1/3 dell'altezza:

$$26 \text{ kN/m}^3 * 0,0024 \text{ m}^2 = 0,06 \text{ kN/m} \text{ (peso di un metro di profilo di serramento)}$$

$$0,06 \text{ kN/m} * 2 \text{ m (ogni metro quadrato di parete)} = 0,12 \text{ kN/ m}^2$$

$$0,12 \text{ kN/ m}^2 * 1/3 = 0,04$$

$$\text{TOTALE} = 2,50 + 0,10 + 0,04 = 2,64 \text{ KN/m}^2$$

5. Parete con fascia inferiore di muratura piena e per il resto vetrata

Muro pieno, sp. 30 cm per 1/3 dell'altezza

$$3,75 \text{ kN/m}^2 * 1/3 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

Vetro doppio, sp. 0,006 m per 2/3 dell'altezza

$$0,29 \text{ kN/m}^2 * 2/3 = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

Serramenti in alluminio (hp : sezione serramento 0,0024 m²) per 1/3 dell'altezza:

$$26 \text{ kN/m}^3 * 0,0024 \text{ m}^2 = 0,06 \text{ kN/m} \text{ (peso di un metro di profilo di serramento)}$$

$$0,06 \text{ kN/m} * 2 \text{ m (ogni metro quadrato di parete)} = 0,12 \text{ kN/ m}^2$$

$$0,12 \text{ kN/m}^2 * 2/3 = 0,08$$

$$\text{TOTALE} = 1,25 + 0,20 + 0,08 = 1,53 \text{ kN/m}^2$$

6. Parete con fascia inferiore di muratura piena e per il resto vetrata con frangisole

Muro pieno, sp. 30 cm per 1/3 dell'altezza

$$3,75 \text{ kN/m}^2 * 1/3 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

Vetro doppio, sp. 0,006 m per 2/3 dell'altezza

$$0,29 \text{ kN/m}^2 * 2/3 = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

Frangisole in acciaio (sezione rettangolare cava di 20*2cm e altezza 2m, disposti 5 ogni metro):

$$78,5 \text{ kN/m}^3 * 0,0009 \text{ m}^2 * 5/\text{m} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{TOTALE} = 1,25 + 0,2 + 0,4 = 1,85 \text{ kN/m}^2$$

L'altezza media dei tamponamenti, escluse le fasce di solaio che sono ricoperte da una scossalina in rame, è di 3,2 metri. I valori ottenuti vengono quindi moltiplicati per questa altezza per trovare il carico lineare da inserire nella formula del carico permanente riportata.

1. $3,75 * 3,2 = 12,0 \text{ kN/m}$
2. $0,41 * 3,2 = 1,3 \text{ kN/m}$
3. $1,71 * 3,2 = 5,5 \text{ kN/m}$
4. $2,64 * 3,2 = 8,45 \text{ kN/m}$
5. $1,56 * 3,2 = 4,9 \text{ kN/m}$
6. $1,85 * 3,2 = 5,92 \text{ kN/m}$

CARICO ACCIDENTALE

Il R.D. 1939 prevede che i carichi accidentali debbano essere stabiliti in relazione al tipo e all'importanza della costruzione, e all'uso a cui è destinata. Sono stati quindi determinati, utilizzando dei prontuari di riferimento dell'epoca (in particolare il Prontuario del cemento armato, L. Santarella, XXVI ed., 1968), facendo riferimento alla funzione iniziale dell'edificio, ovvero sede dell'industria CEAT gomme (corpo ovest funzione di magazzino industriale, corpo est funzione di rappresentanza e uffici).

- Magazzino industriale: 4 kN/m^2
- Uffici: 2 kN/m^2
- Scale: 4 kN/m^2

Carico neve in copertura: $0,8 \text{ kN/m}^2$

I carichi al metro lineare da applicare alle travi di ogni telaio si ottengono moltiplicando i carichi al metro quadrato per la larghezza dell'area di influenza della trave. L'elaborazione dei risultati viene eseguita con un foglio elettronico. Carico permanente e carico accidentale sono separati in modo da poter poi applicare al modello di calcolo diverse combinazioni di carico dettate dalla linea di influenza del telaio.

carico permanente:

$$g = (G_{\text{peso proprio solaio}} + G_{\text{sovraccarico permanente}} + g_{\text{tamponamento esterno}} / l_{\text{mensola}}) * i_{\text{solaio}}$$

carico accidentale:

$$q = (Q_{\text{accidentale}}) * i_{\text{solaio}}$$

Vengono riportati i risultati ottenuti suddivisi ordinati seguendo i numeri di telaio e i grafici esemplificativi dei carichi applicati nei quattro telai tipo scelti (telai 1, 7, 13, 17).

| TELAIO 1 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 16,83 | 9,00 |
| | q2 | 25,61 | 9,00 |
| | q3 | 38,16 | 9,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 28,24 | 9,00 |
| | q2 | 14,79 | 9,00 |
| | q3 | 23,57 | 9,00 |
| | q4 | 28,42 | 9,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 28,24 | 9,00 |
| | q2 | 14,79 | 9,00 |
| | q3 | 23,57 | 9,00 |
| | q4 | 28,42 | 9,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 28,24 | 9,00 |
| | q2 | 14,79 | 9,00 |
| | q3 | 23,57 | 9,00 |
| | q4 | 28,42 | 9,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 12,94 | 1,80 |
| | q2 | 11,03 | 1,80 |
| | q3 | 14,40 | 1,80 |
| | q4 | 12,94 | 1,80 |

| TELAIO 2 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 9,00 |
| | q4 | 45,83 | 18,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 29,69 | 18,00 |

| | | | |
|------------------|----|-------|-------|
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 25,88 | 3,60 |
| | q2 | 37,80 | 3,60 |
| | q3 | 28,80 | 3,60 |
| | q4 | 32,63 | 3,60 |

| TELAIO 3 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 45,83 | 18,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 14,85 | 9,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 14,85 | 9,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 25,88 | 3,60 |
| | q2 | 41,63 | 3,60 |
| | q3 | 28,80 | 3,60 |
| | q4 | 32,63 | 3,60 |

| TELAIO 4-5-6 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|---------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 45,83 | 18,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 17,55 | 18,00 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| | | | |
|------------------|----|-------|-------|
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 30,04 | 18,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 17,55 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 30,04 | 18,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 25,88 | 3,60 |
| | q2 | 41,63 | 3,60 |
| | q3 | 28,80 | 3,60 |
| | q4 | 32,63 | 3,60 |

| TELAIO 7 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 45,83 | 18,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 14,85 | 9,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 14,85 | 9,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 25,88 | 3,60 |
| | q2 | 41,63 | 3,60 |
| | q3 | 28,80 | 3,60 |
| | q4 | 32,63 | 3,60 |

| TELAIO 8 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 45,83 | 18,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 17,55 | 18,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 25,88 | 3,60 |
| | q2 | 41,63 | 3,60 |
| | q3 | 28,80 | 3,60 |
| | q4 | 32,63 | 3,60 |

| TELAIO 9 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|---------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 30,69 | 9,00 |
| | q2 | 23,40 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 45,83 | 18,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 30,69 | 9,00 |
| | q2 | 23,40 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 30,69 | 9,00 |
| | q2 | 23,40 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| | | | |
|------------------|----|-------|-------|
| trave 10..11..12 | q1 | 30,69 | 9,00 |
| | q2 | 23,40 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 30,04 | 18,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 12,94 | 3,60 |
| | q2 | 41,63 | 3,60 |
| | q3 | 28,80 | 3,60 |
| | q4 | 32,63 | 1,80 |

| TELAIO 10 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 10,69 | 9,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 8,78 | 9,00 |
| | q5 | 22,92 | 9,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 14,85 | 9,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 8,78 | 9,00 |
| | q5 | 15,02 | 9,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 14,85 | 9,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 8,78 | 9,00 |
| | q5 | 15,02 | 9,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 14,85 | 9,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 8,78 | 9,00 |
| | q5 | 15,02 | 9,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 12,94 | 1,80 |
| | q2 | 11,03 | 1,80 |
| | q3 | 22,05 | 3,60 |
| | q4 | 14,40 | 1,80 |
| | q5 | 16,31 | 1,80 |

| TELAIO 11 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 21,38 | 18,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 73,35 | 18,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 36,23 | 18,00 |
| trave 7..8..9 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 36,23 | 18,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 29,69 | 18,00 |
| | q2 | 8,78 | 9,00 |
| | q3 | 17,55 | 18,00 |
| | q4 | 36,23 | 18,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 25,88 | 3,60 |
| | q2 | 11,03 | 1,80 |
| | q3 | 22,05 | 3,60 |
| | q4 | 25,88 | 3,60 |

| TELAIO 12 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 19,90 | 9,20 |
| | q3 | 19,90 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 4..5..6 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 19,90 | 9,20 |
| | q3 | 19,90 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 7..8..9 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 19,90 | 9,20 |
| | q3 | 19,90 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 10..11..12 | q1 | 70,00 | 9,20 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| | | | |
|------------------|----|-------|------|
| | q2 | 19,90 | 9,20 |
| | q3 | 19,90 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 13..14..15 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 19,90 | 9,20 |
| | q3 | 19,90 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 16..17..18 | q1 | 14,72 | 3,68 |
| | q2 | 14,72 | 3,68 |
| | q3 | 14,72 | 3,68 |
| | q4 | 14,72 | 3,68 |

| TELAIO 13 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 4..5..6 | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 7..8..9 | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 10..11..12 | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 13..14..15 | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 16..17..18 | q1 | 14,72 | 3,68 |
| | q2 | 14,72 | 3,68 |
| | q3 | 14,72 | 3,68 |
| | q4 | 14,72 | 3,68 |

| TELAIO 14 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 21,85 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 4..5..6 | q1 | 21,85 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 7..8..9 | q1 | 21,85 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 10..11..12 | q1 | 21,85 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 13..14..15 | q1 | 21,85 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 16..17..18 | q1 | 14,72 | 3,68 |
| | q2 | 14,72 | 3,68 |
| | q3 | 14,72 | 3,68 |
| | q4 | 14,72 | 3,68 |

| TELAIO 15 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|---------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 4,14 | 4,60 |
| | q2 | 0,00 | 4,60 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 8,97 | 0,00 |
| | q5 | 16,81 | 0,00 |
| trave 4..5..6 | q1 | 4,14 | 9,20 |
| | q2 | 0,00 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 0,00 |
| | q4 | 33,62 | 0,00 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| | | | |
|------------------|----|-------|------|
| trave 7..8..9 | q1 | 4,14 | 9,20 |
| | q2 | 0,00 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 0,00 |
| | q4 | 33,62 | 0,00 |
| trave 10..11..12 | q1 | 4,14 | 9,20 |
| | q2 | 0,00 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 0,00 |
| | q4 | 33,62 | 0,00 |
| trave 13..14..15 | q1 | 4,14 | 9,20 |
| | q2 | 0,00 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 0,00 |
| | q4 | 33,62 | 0,00 |
| trave 16..17..18 | q1 | 14,72 | 3,68 |
| | q2 | 14,72 | 3,68 |
| | q3 | 14,72 | 3,68 |
| | q4 | 14,72 | 3,68 |

| TELAIO 16 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|------------------|----|----------------------------|-----------------------------|
| trave 1..2..3 | q1 | 4,14 | 9,20 |
| | q2 | 0,00 | 4,60 |
| | q3 | 8,97 | 0,00 |
| | q4 | 16,81 | 4,60 |
| trave 4..5..6 | q1 | 39,14 | 9,20 |
| | q2 | 8,97 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 4,60 |
| | q4 | 33,62 | 4,60 |
| trave 7..8..9 | q1 | 39,14 | 9,20 |
| | q2 | 8,97 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 4,60 |
| | q4 | 33,62 | 4,60 |
| trave 10..11..12 | q1 | 39,14 | 9,20 |
| | q2 | 8,97 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 4,60 |
| | q4 | 33,62 | 4,60 |
| trave 13..14..15 | q1 | 39,14 | 9,20 |
| | q2 | 8,97 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 4,60 |

| | | | |
|------------------|----|-------|------|
| | q4 | 33,62 | 4,60 |
| trave 16..17..18 | q1 | 14,72 | 3,68 |
| | q2 | 14,72 | 3,68 |
| | q3 | 14,72 | 3,68 |
| | q4 | 14,72 | 3,68 |

| TELAIO 17 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|-----------|--|----------------------------|-----------------------------|
|-----------|--|----------------------------|-----------------------------|

| | | | |
|------------------|----|-------|------|
| trave 4..5..6 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 7..8..9 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 10..11..12 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 13..14..15 | q1 | 70,00 | 9,20 |
| | q2 | 17,94 | 9,20 |
| | q3 | 17,94 | 9,20 |
| | q4 | 33,62 | 9,20 |
| trave 16..17..18 | q1 | 14,72 | 3,68 |
| | q2 | 14,72 | 3,68 |
| | q3 | 14,72 | 3,68 |
| | q4 | 14,72 | 3,68 |

| TELAIO 18 | | carico permanente G [kN/m] | carico accidentale Q [kN/m] |
|-----------|--|----------------------------|-----------------------------|
|-----------|--|----------------------------|-----------------------------|

| | | | |
|---------------|----|-------|------|
| trave 4..5..6 | q1 | 49,79 | 4,60 |
| | q2 | 23,76 | 4,60 |
| | q3 | 23,76 | 4,60 |
| | q4 | 31,60 | 4,60 |
| trave 7..8..9 | q1 | 49,79 | 4,60 |
| | q2 | 23,76 | 4,60 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| | | | |
|------------------|----|-------|------|
| | q3 | 23,76 | 4,60 |
| | q4 | 31,60 | 4,60 |
| trave 10..11..12 | q1 | 49,79 | 4,60 |
| | q2 | 23,76 | 4,60 |
| | q3 | 23,76 | 4,60 |
| | q4 | 31,60 | 4,60 |
| trave 13..14..15 | q1 | 49,79 | 4,60 |
| | q2 | 23,76 | 4,60 |
| | q3 | 23,76 | 4,60 |
| | q4 | 31,60 | 4,60 |
| trave 16..17..18 | q1 | 7,36 | 1,84 |
| | q2 | 7,36 | 1,84 |
| | q3 | 7,36 | 1,84 |
| | q4 | 7,36 | 1,84 |

4.4 - DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI

I carichi permanenti e accidentali sono stati applicati ai 4 telai scelti attraverso il programma di calcolo straus 7, versione 2.3.3 che permette poi di determinare le sollecitazioni per ogni elemento strutturale schematizzato. I carichi accidentali sono stati applicati al modello di calcolo seguendo cinque combinazioni, secondo l'andamento della linea di influenza, in modo da massimizzare i valori del momento in campata e agli appoggi. La disposizione dei carichi segue le combinazioni riportate nei grafici seguenti.

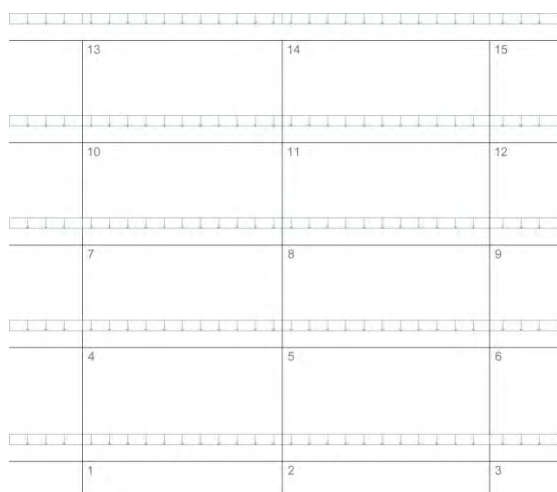


Figura 4.8: Combinazione n. 1

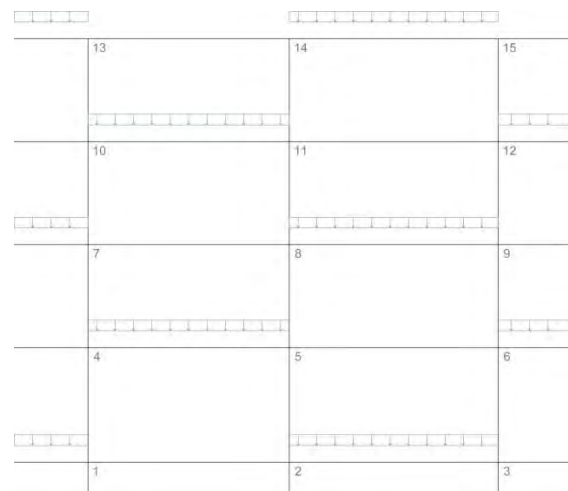


Figura 4.9: Combinazione n. 2

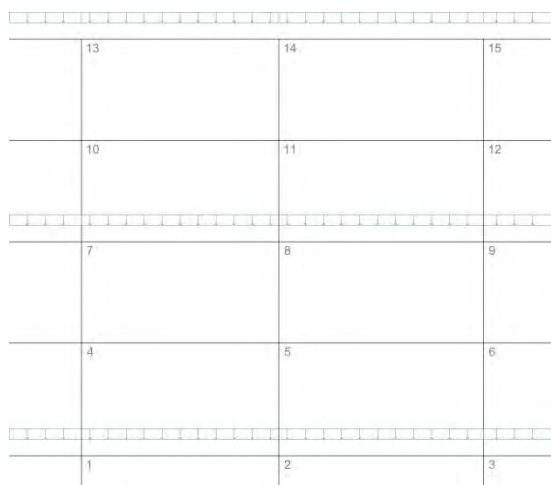


Figura 4.10: Combinazione n. 3

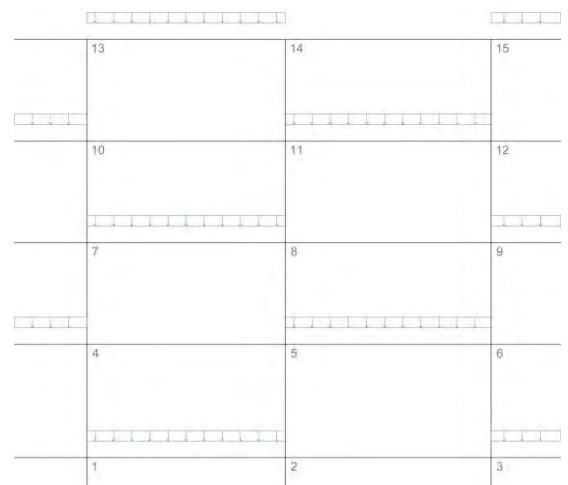


Figura 4.11: Combinazione n. 4

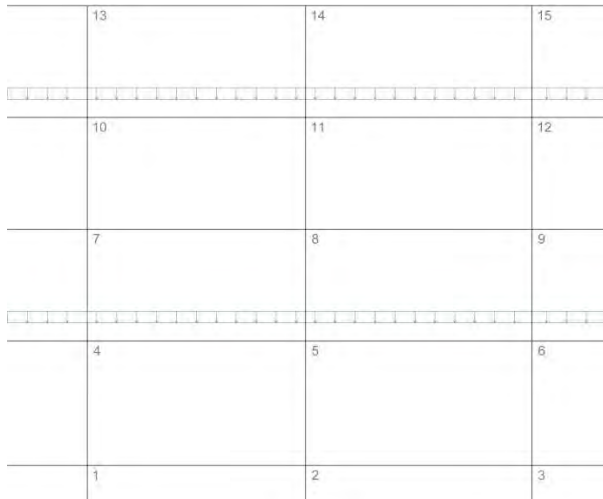


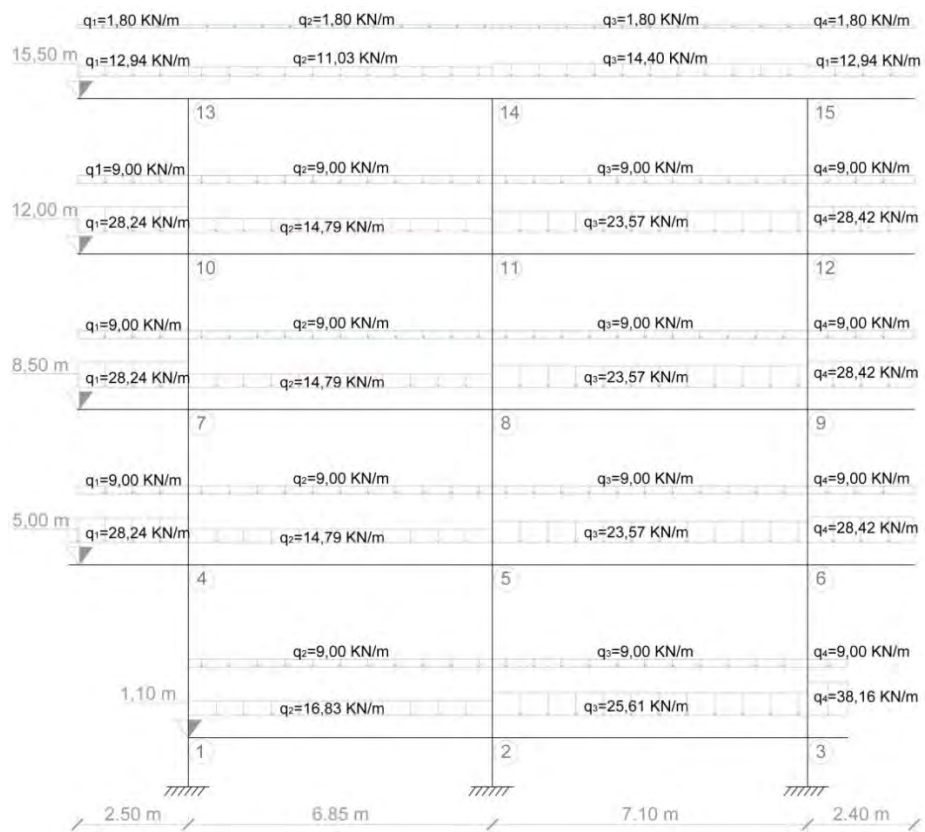
Figura 4.12: Combinazione n. 5

Per semplicità descrittiva si riportano di seguito le schematizzazioni delle modalità di carico e i relativi parametri delle sollecitazioni ottenuti per solo uno dei 4 telai analizzati, il telaio 1.

Per ogni sezione viene scelto il valore più gravoso di momento, taglio e sforzo normale, tra quelli ottenuti nelle cinque diverse combinazioni. Questi valori saranno quelli utilizzati nella determinazione delle armature col metodo delle tensioni ammissibili illustrato precedentemente.

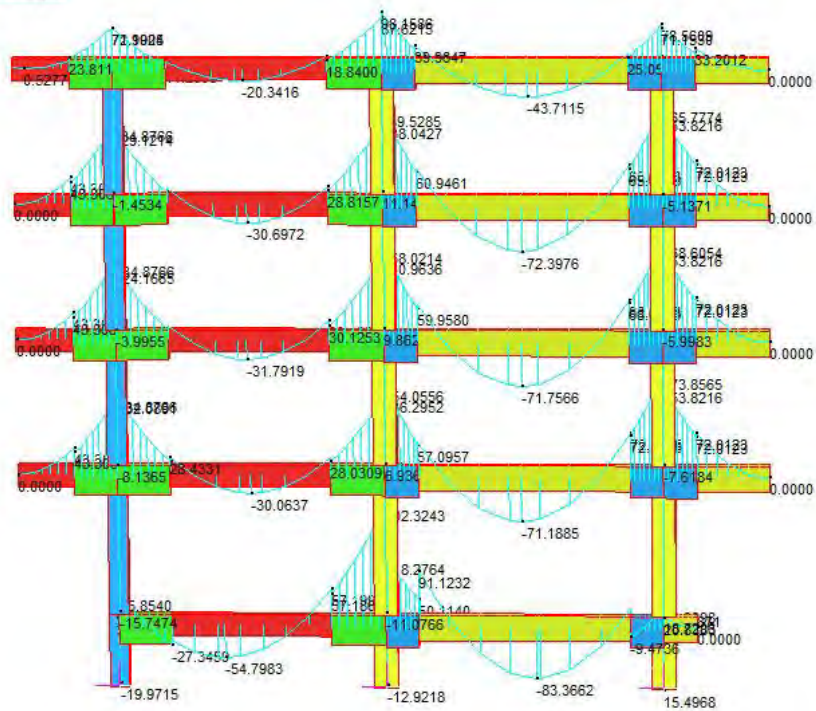
Per quanto riguarda il momento risulta avere valori più gravosi agli appoggi nella combinazione 1 mentre si riscontrano valori più gravosi in campata nelle combinazioni 1 e 2. Il taglio e lo sforzo normale come è facilmente prevedibile risultano raggiungere i valori massimi nella combinazione con il carico accidentale massimizzato in tutte le campate, la combinazione 1.

Combinazione dei carichi n.1 :



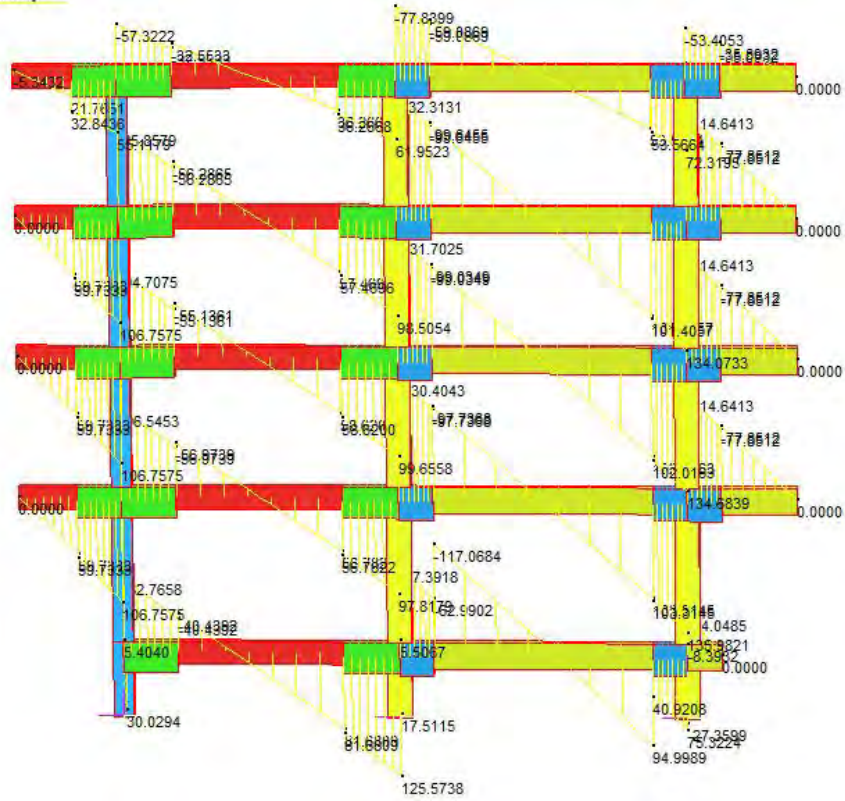
Momento flettente:

| | MIN | MAX |
|-----------|-----------|-----------|
| BM1(kN.m) | -83.3662 | 202.3243 |
| [Bm:1447] | [Bm:1447] | [Bm:1441] |



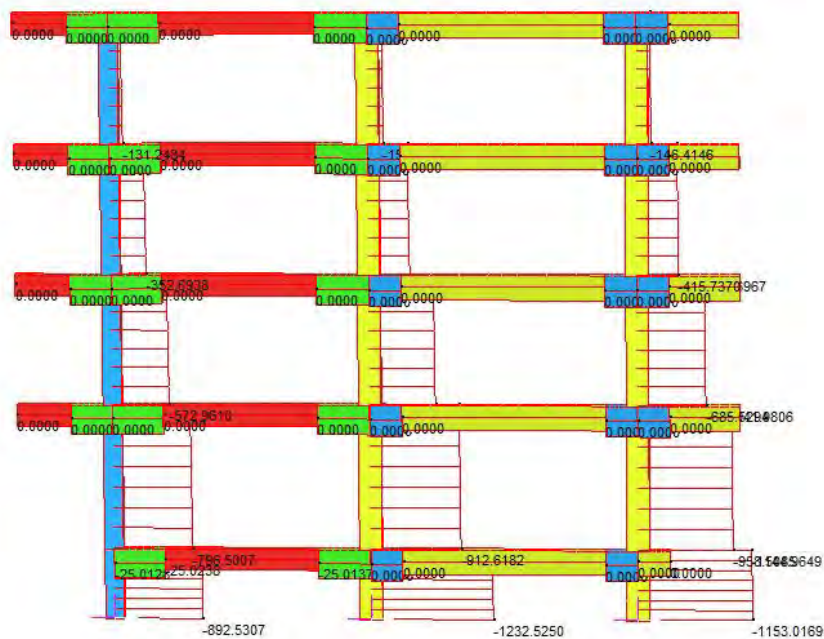
Taglio:

| | MIN | MAX |
|---------|-----------|-----------|
| SF1(kN) | -132.3131 | 135.9821 |
| | [Bm:1414] | [Bm:1436] |

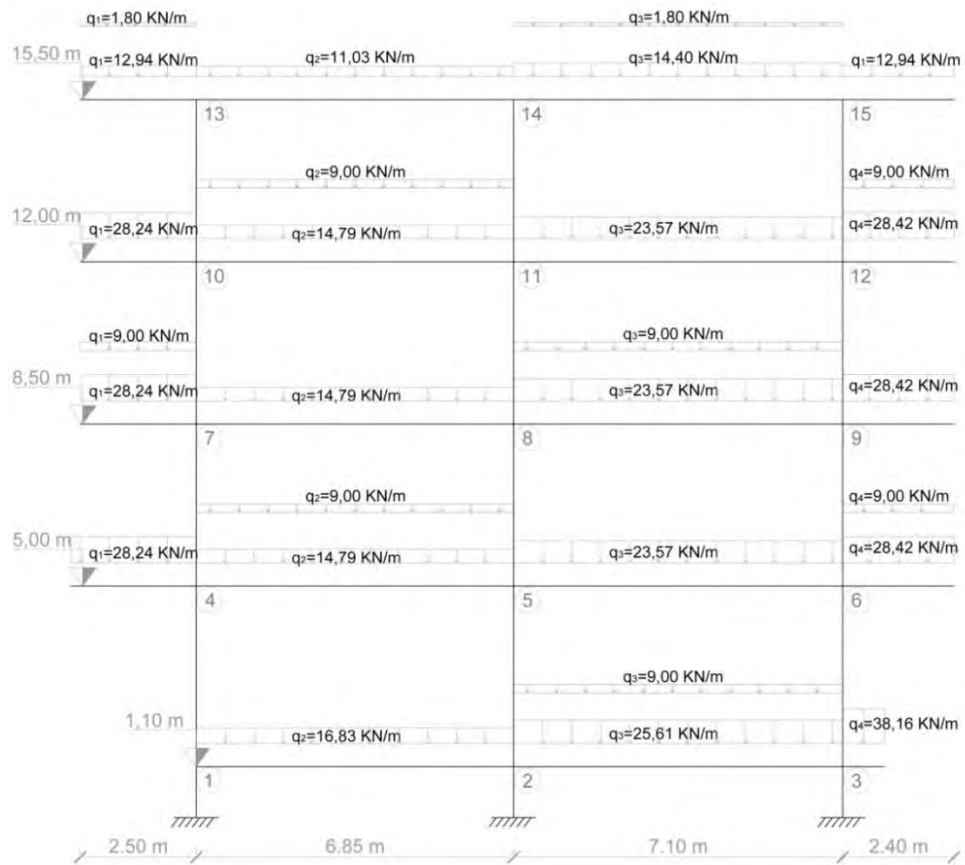


Sforzo normale:

| | MIN | MAX |
|-----------|------------|-----------|
| Force(kN) | -1232.5250 | 0.0000 |
| | [Bm:28] | [Bm:1403] |

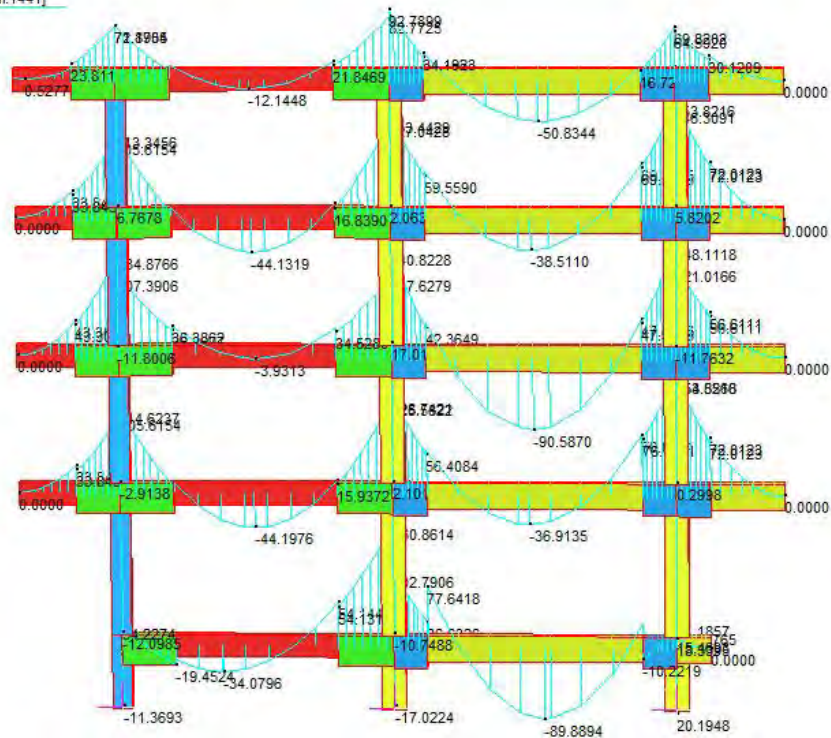


Combinazione di carico n.2:



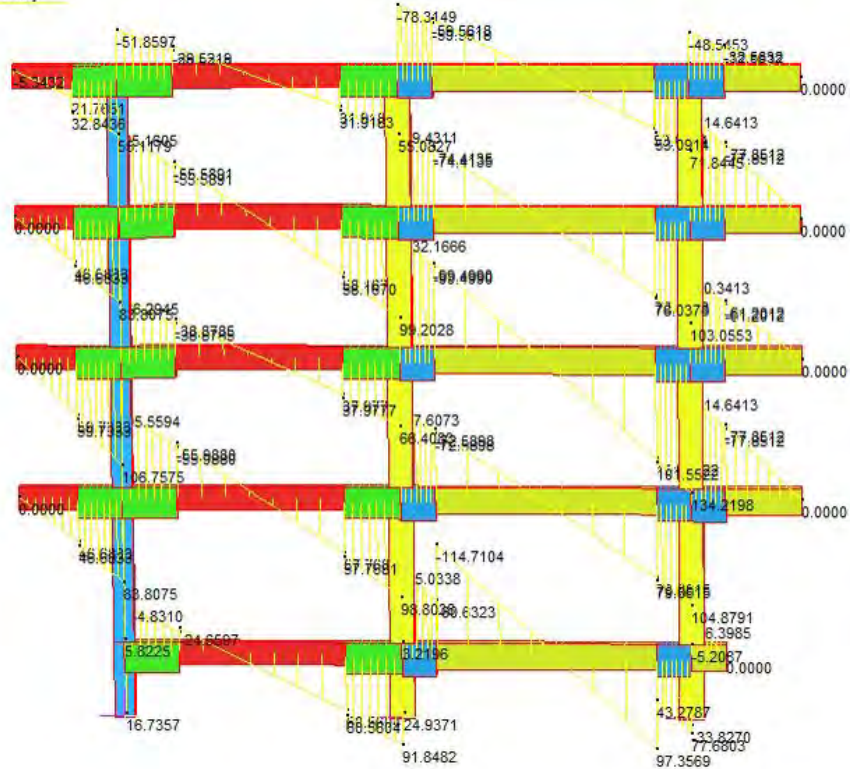
Momento flettente:

| | MIN | MAX |
|-----------|-----------|-----------|
| BM1(kN.m) | -90,5870 | 160,8614 |
| | [Bm:1425] | [Bm:1441] |



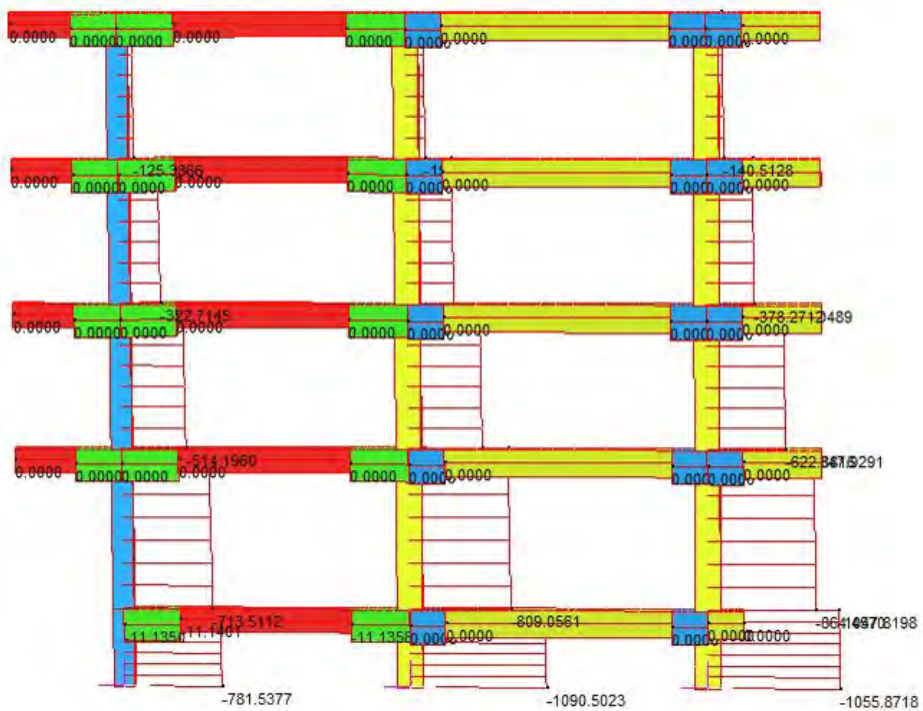
Taglio:

| | MIN | MAX |
|---------|-----------|-----------|
| SF1(kN) | -132.1666 | 134.2198 |
| | [Bm:1424] | [Bm:1426] |

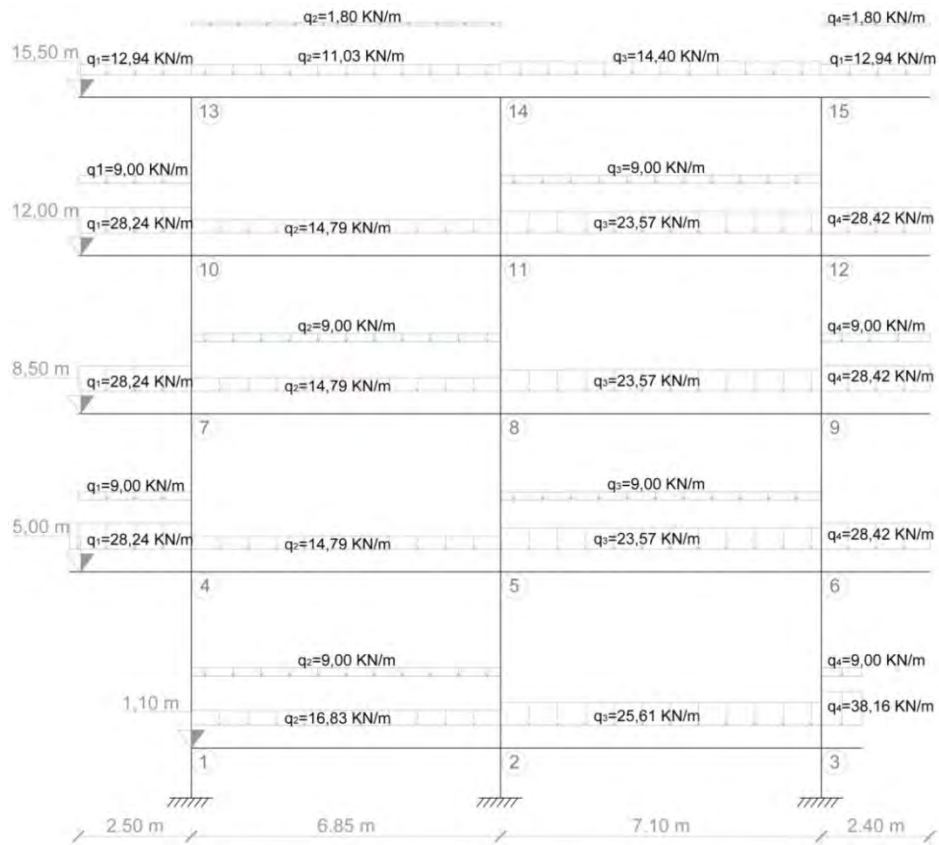


Sforzo normale:

| | MIN | MAX |
|-----------|------------|-----------|
| Force(kN) | -1090.5023 | 0.0000 |
| | [Bm:28] | [Bm:1403] |

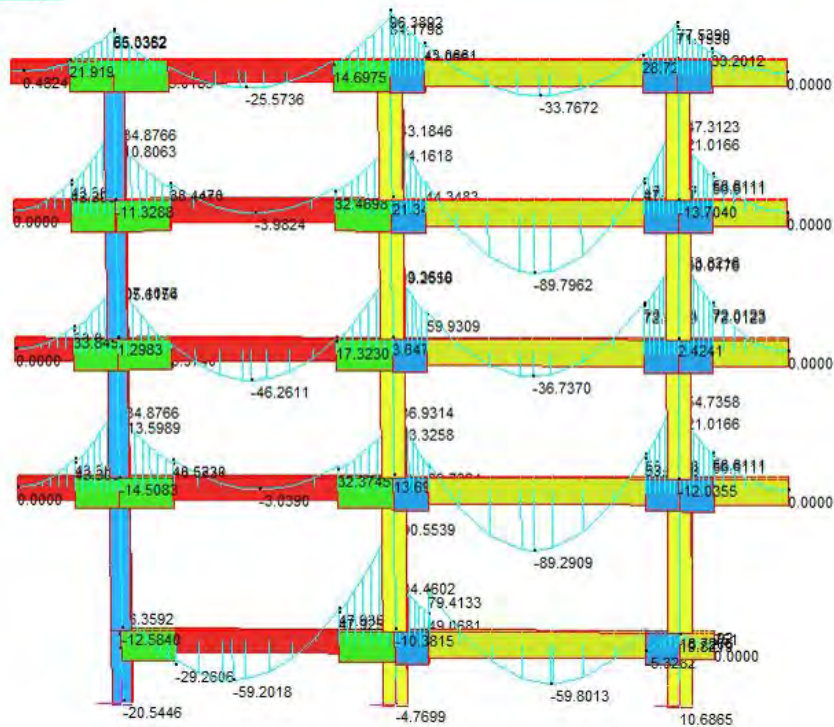


Combinazione di carico n.3:



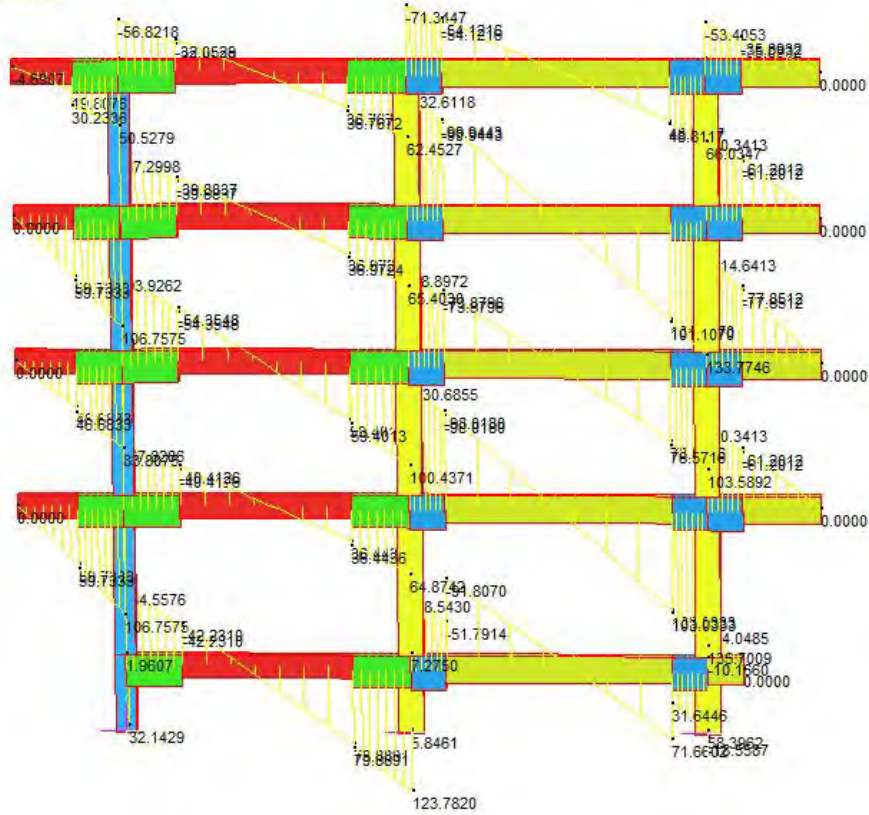
Momento flettente:

| | MIN | MAX |
|-----------|-----------|-----------|
| BM1(kN.m) | -89.7962 | 190.5539 |
| | [Bm:1415] | [Bm:1441] |



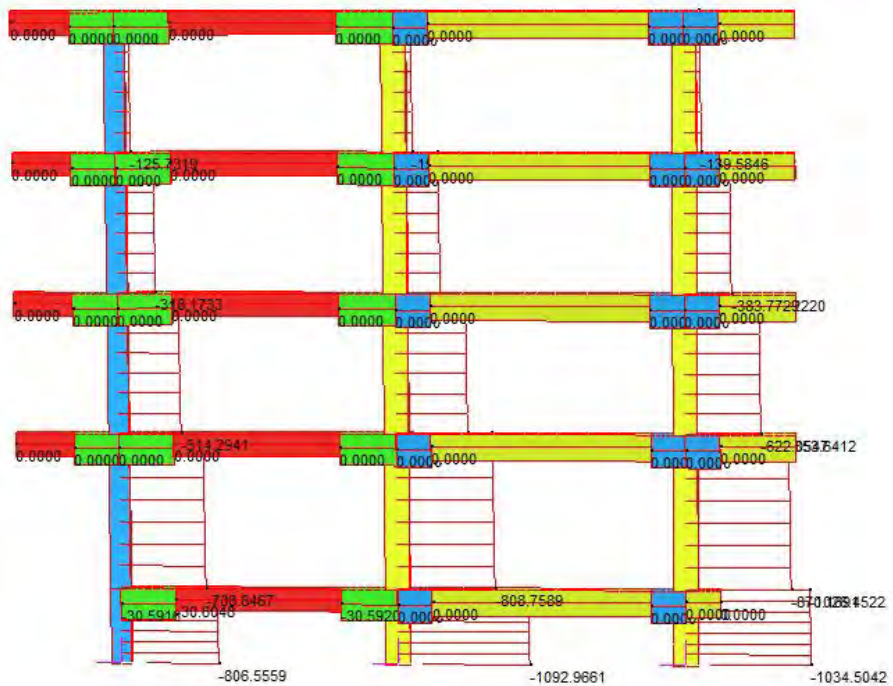
Taglio:

| | MIN | MAX |
|---------|-----------|-----------|
| SF1(kN) | -132.6118 | 135.7009 |
| | [Bm:1414] | [Bm:1436] |

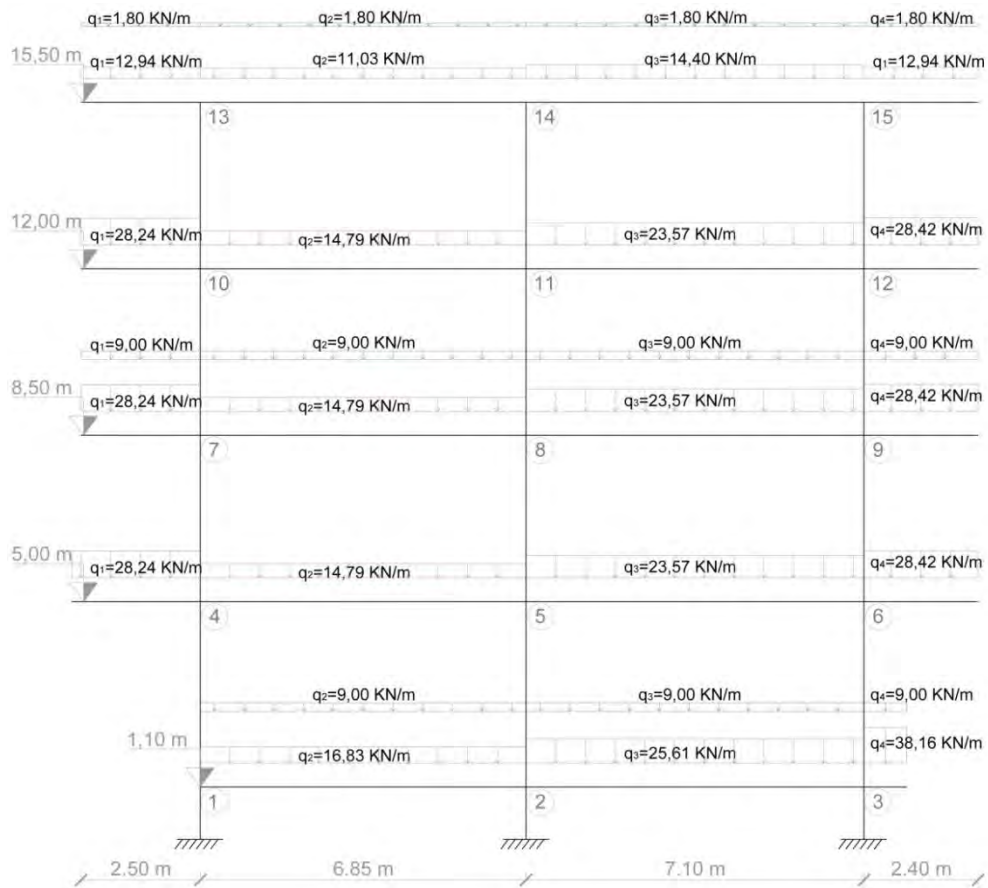


Sforzo normale:

| | MIN | MAX |
|-----------|------------|-----------|
| Force(kN) | -1092.9661 | 0.0000 |
| | [Bm:28] | [Bm:1403] |

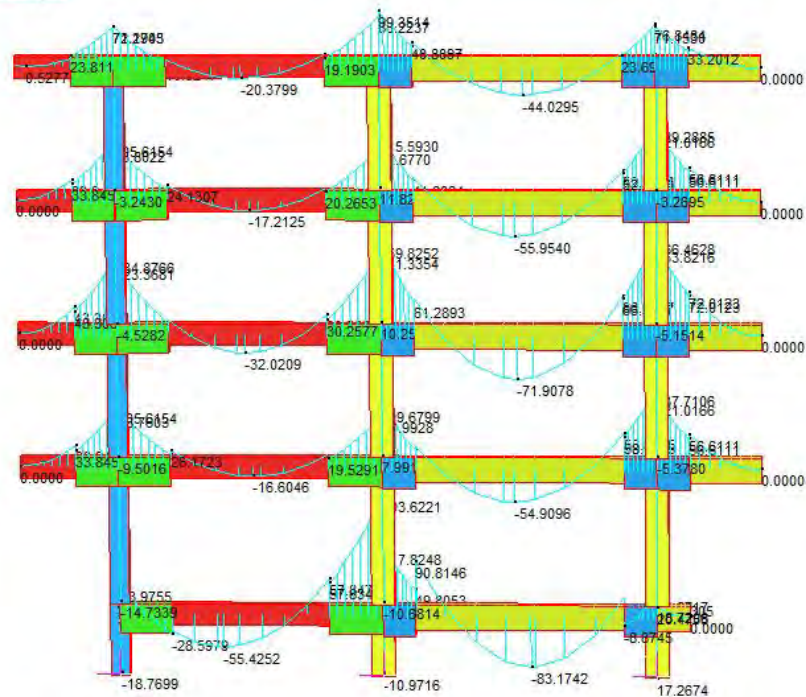


Combinazione di carico n.4:



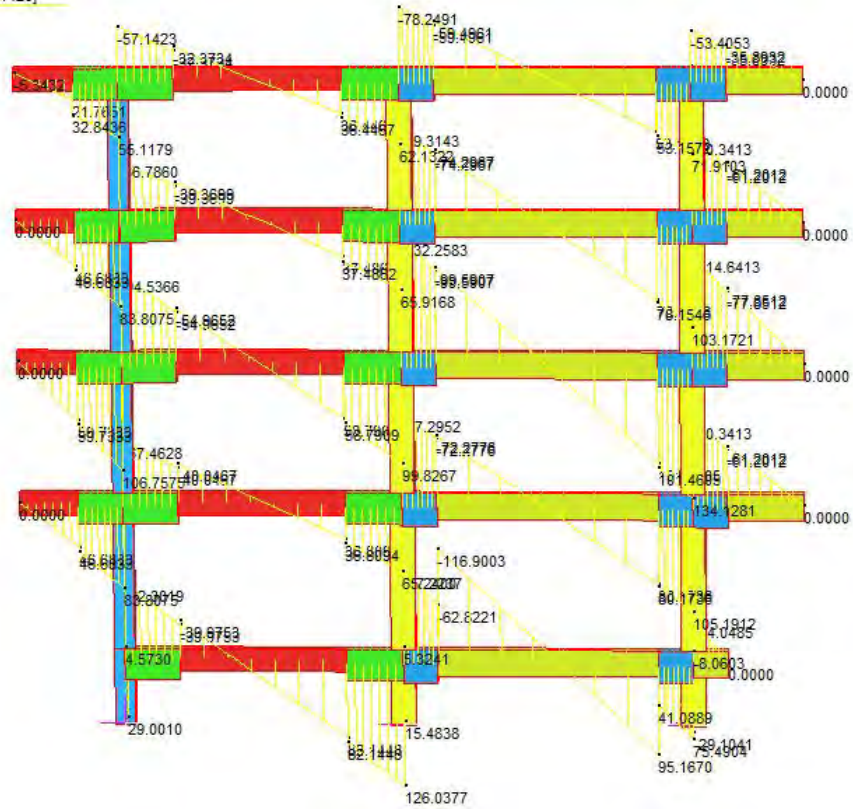
Momento flettente:

| | MIN | MAX |
|-----------|-----------|-----------|
| BM1(kN.m) | -83.1742 | 203.6221 |
| | [Bm:1447] | [Bm:1441] |



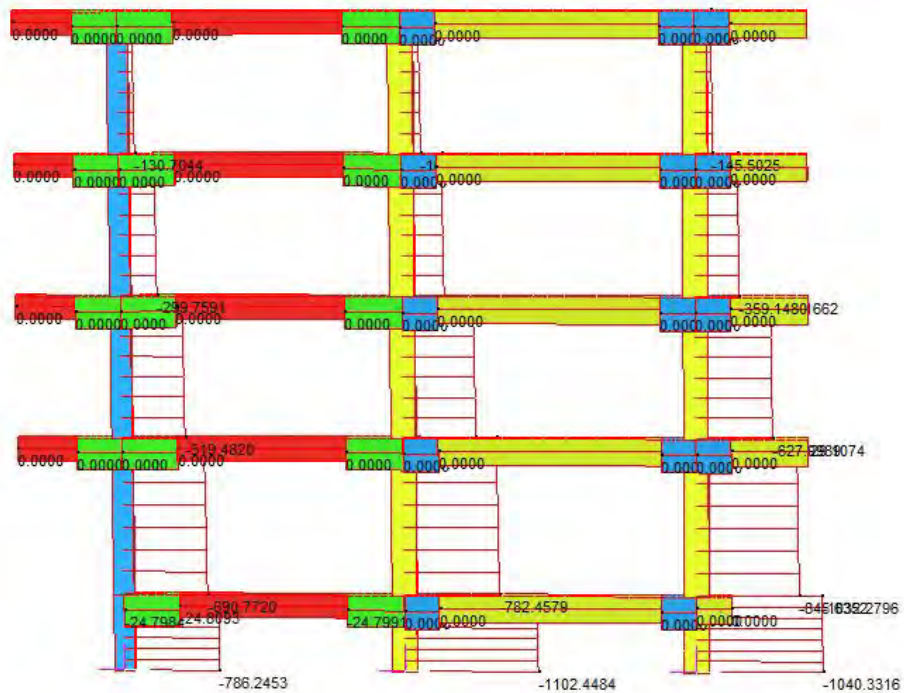
Taglio:

| | MIN | MAX |
|---------|-----------|-----------|
| SF1(kN) | -132.2583 | 134.1281 |
| | [Bm:1424] | [Bm:1426] |

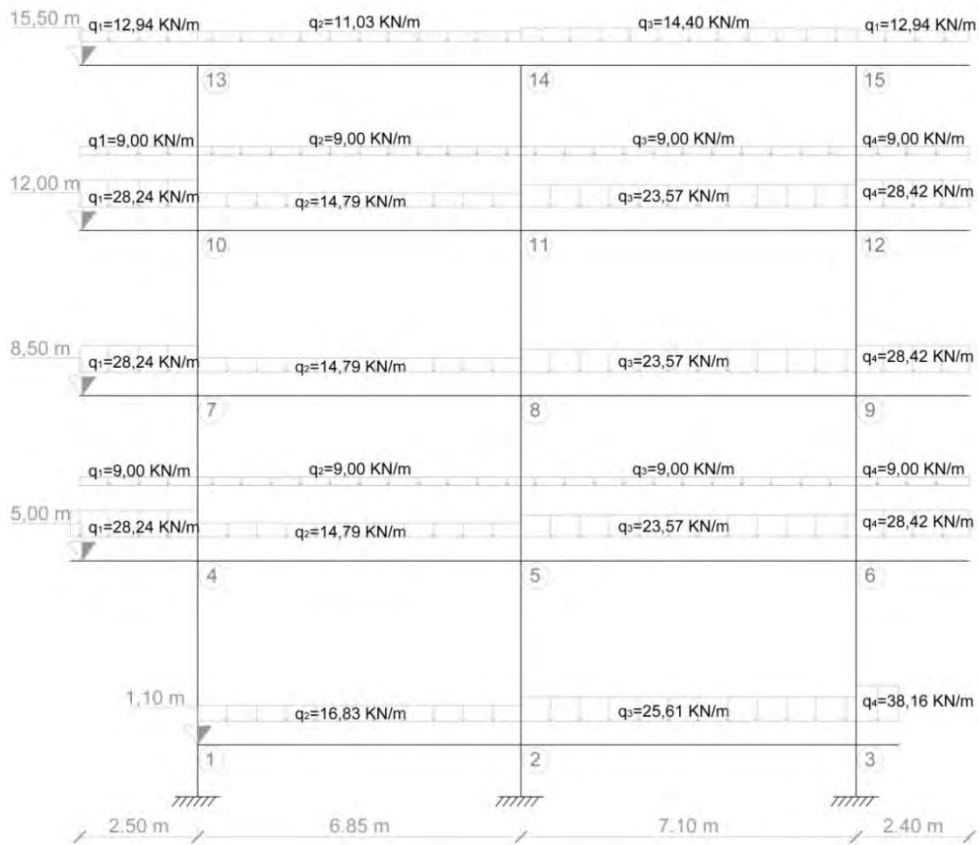


Sforzo normale:

| | MIN | MAX |
|-----------|------------|-----------|
| Force(kN) | -1102.4484 | 0.0000 |
| | [Bm:28] | [Bm:1403] |

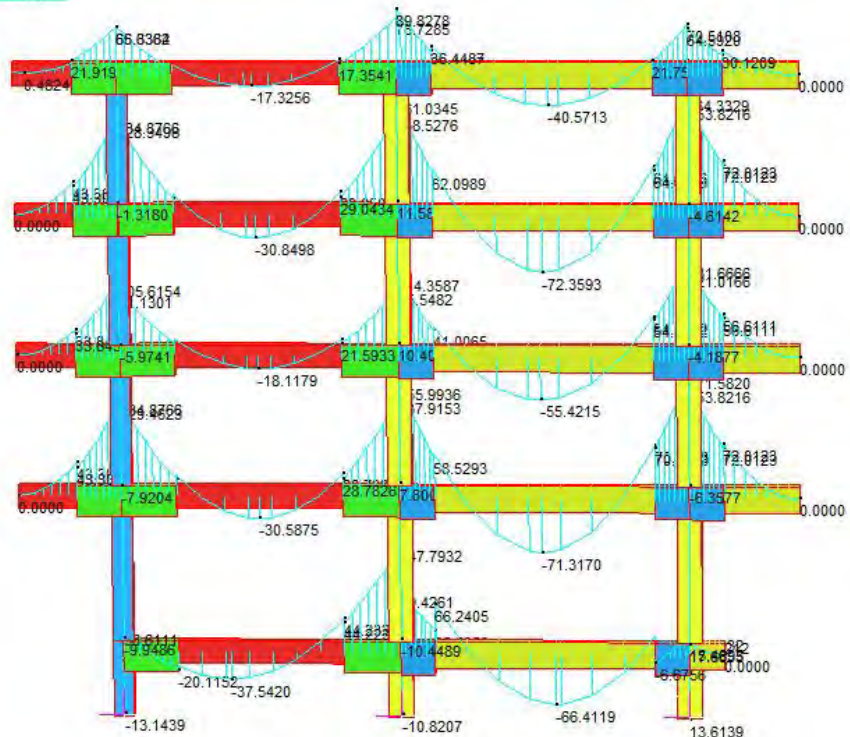


Combinazione di carico n.5:



Momento flettente:

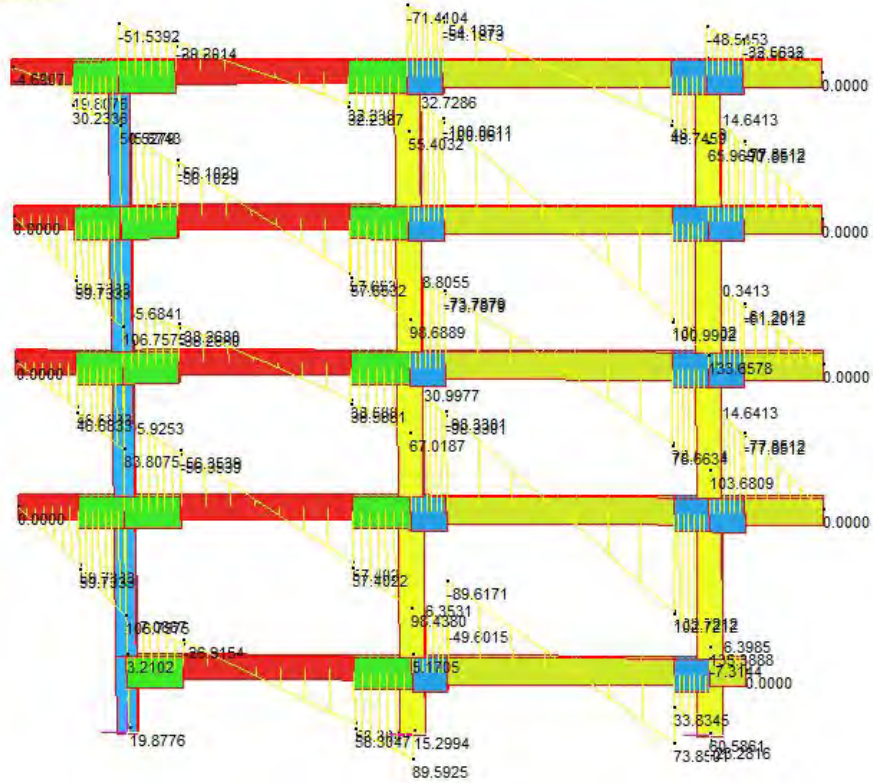
| | MIN | MAX |
|-----------|-----------|-----------|
| BM1(kN.m) | -72.3593 | 171.5820 |
| | [Bm:1415] | [Bm:1436] |



Cap. 4 - Progetto simulato

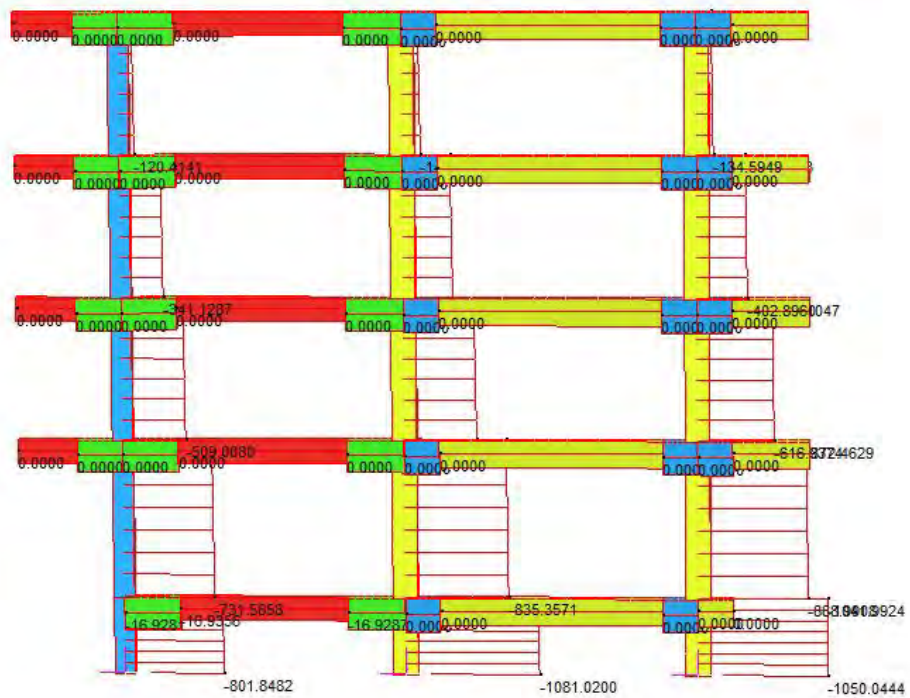
Taglio:

| | MIN | MAX |
|---------|-----------|-----------|
| SF1(kN) | -132.7286 | 135.3888 |
| | [Bm:1414] | [Bm:1436] |



Sforzo normale:

| | MIN | MAX |
|-----------|------------|-----------|
| Force(kN) | -1081.0200 | 0.0000 |
| | [Bm:28] | [Bm:1403] |



4.5 - DETERMINAZIONI DELL'ARMATURA DI PROGETTO

4.5.1 TRAVI

Armatura longitudinale

Per il calcolo dell'area di armatura di progetto $A_{s,d}$ è stato utilizzato un foglio di calcolo, suddiviso in base al numero dei telai e delle travi di ciascun telaio, in cui per ogni sezione notevole della trave sono stati riportati le dimensioni in cm della sezioni di calcestruzzo (b e h), da cui è stata calcolata l'area, e il momento agente in quella sezione.

Il copriferro (d) assegnato alle sezioni è stato fissato di cm 3 che sommati al raggio dei ferri disposti longitudinalmente e al diametro delle staffe fa approssimativamente 4 cm. Fissato lo spessore del copriferro è stato possibile individuare l'altezza utile delle sezioni (h').

$$h' = h - d \quad [4.10]$$

Con h altezza della sezione e d distanza tra il baricentro dei ferri e il lembo della sezione, preso complessivamente di 4 cm per ipotesi comprensivi del copriferro e dell'ingombro di staffe e ferri longitudinali.

Il valore del momento agente inserito è stato trasformato da $kN \cdot m$ a $kg \cdot cm$, unità di misura utilizzata all'epoca che meglio si presta all'applicazione delle formule. Inoltre il momento inserito è stato decurtato di una quota dovuta alla differenza tra il valore del momento nel nodo e quello invece al lembo del pilastro, ovvero quello che ci interessa per il calcolo dell'armatura nella sezione, come specificato all'art.23 del R.D. 1939: *Di regola per portata di una campata di una trave continua si assume la distanza fra gli assi dei sostegni; qualora i sostegni presentino superficie di appoggio alquanto estese, ferma restando la portata fra gli assi, il calcolo delle sezioni di estremità può eseguirsi per le caratteristiche corrispondenti alle sezioni della trave sui lembi dei sostegni.*

Per la determinazione della quota da decurtare sono stati presi i valori al nodo e al lembo del pilastro per 10 tronchi di trave e si è calcolata la variazione percentuale che è risultata tra il 20% e il 24%, a favore della sicurezza si è scelto di applicare una diminuzione del 20%.

E' stata quindi calcolata l'area di armatura resistente in funzione del momento agente e dell'altezza utile della sezione, con la formula 4.11:

$$A_s = \frac{M}{0,9 h' \sigma_{amm,f}} \quad [4.11]$$

Il D.L. del 1939 non dava un limite per quanto riguarda l'armatura minima longitudinale, si è quindi scelto di fare un confronto con il limite posto dalla legge 5.11.1971 n. 1086, appena successiva, che imponeva di avere in zona tesa un'area di armatura costituita da barre lisce almeno pari allo 0,25% della sezione rettangolare di calcolo. Scelta la maggiore tra l'armatura risultante dalla formula di progetto e quella calcolata secondo normativa sono stati determinati quantità e diametro dei ferri di armatura per ogni sezione notevole delle travi. Sono stati utilizzati in prevalenza ferri $\phi 12$ e $\phi 14$ come era consuetudine in quegli anni. Calcolata l'area dell'armatura progettata si è determinata la posizione dell'asse neutro necessaria per le verifiche, con la formula 4.12:

$$y = \frac{10A_s}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bh'}{10A_s}} \right) \quad [4.12]$$

Dove A_s è l'area dell'armatura resistente, b e h' sono rispettivamente base e altezza utile della sezione.

Le verifiche prevedono di confrontare le tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio determinate con le formule 4.13 e 4.14 riportate sotto, con le tensioni ammissibili scelte per i materiali secondo normativa (cap. 4.1).

$$\sigma_{c,max} = \frac{2M}{by\left(h' - \frac{y}{3}\right)} \leq \sigma_{c,amm} \quad [4.13]$$

$$\sigma_{a,max} = \frac{M}{A_{s,d}\left(h' - \frac{y}{3}\right)} \leq \sigma_{a,amm} \quad [4.14]$$

Dove M è il momento agente, b e h' rispettivamente la base e l'altezza utile della sezione considerata e y l'altezza dell'asse neutro.

Tutte le sezioni considerate risultano verificate come si riporta nella tabella 4.1.

Armatura trasversale

Per il calcolo dell'armatura trasversale si è fatto uso di un foglio di calcolo in cui si sono inseriti i parametri geometrici di tutte le sezioni notevoli dei quattro telai considerati e il valore dello sforzo di taglio agente per ognuna di queste sezioni.

Anche per il taglio come per il momento flettente si è applicata una riduzione dovuta alla diminuzione dello sforzo tagliante dal nodo al lembo del pilastro. La quota da decurtare, determinata facendo la media tra le percentuali di riduzione di 10 diverse sezioni, risulta essere dell'8%, la correttezza di un valore minore rispetto a quello ottenuto per il momento è confermata dall'andamento del diagramma del taglio che è lineare e non forma la cuspide negli appoggi come il momento.

I valori delle sollecitazioni agenti sono anche in questo caso stati trasformati da kN*m a kg*cm, per facilitare l'utilizzo delle formule.

Sulla base di questi dati si è calcolata la tensione tangenziale massima su ogni sezione, che secondo il R.D. 1939 *non deve superare i 4 kg/cm² per i conglomerati di cemento idraulico normale (Portland), d'alto forno o pozzolanico, 6 kg/cm² per conglomerati di cemento ad alta resistenza o alluminosi.*⁶

$$\tau = \frac{T}{0,9 h' b} \quad [4.15]$$

Dove T è il taglio agente, b e h' sono rispettivamente base e altezza utile della sezione.

Sono state evidenziate in tabella le sezioni in cui $\tau_c \leq \tau_{c,amm}$ ovvero quelle per cui è sufficiente l'armatura minima e quelle invece in cui è necessaria l'aggiunta di armatura metallica come previsto dal R.D. 1939: *Quando la tensione tangenziale massima calcolata per il conglomerato supera i detti limiti, la resistenza al taglio deve essere integralmente affidata ad armature metalliche.*

Si è deciso di prendere staffe ϕ 6 a due braccia, con sezione resistente f_s pari a 0,57 cm², nelle sezioni verificate mentre si ipotizzano staffe ϕ 6 a quattro braccia, con sezione resistente f_s pari a 1,14 cm², nelle sezioni in cui è necessaria armatura a taglio ed è stato specificato in tabella il passo tra le staffe nelle varie sezioni. Risulta però consuetudine

⁶ Art. 18, capo III, Norme di progettazione, R.D. 1939

all'epoca che il passo tra le staffe non variasse all'interno della stessa trave, per questo si è deciso di variare solo la sezione resistente, nell'elaborazione grafica le staffe sono state quindi rappresentate tutte a distanza uguale, corrispondente alla minore tra quelle determinate nella stessa trave.

Si riporta un passo del saggio *Resistenza sismica di telai in c.a. progettati con il R.D. 2229/39*⁷ a conferma delle scelte effettuate: “*Non sono presenti indicazioni sull'eventuale infittimento delle staffe nelle zone di estremità e sulla presenza di staffe all'interno dei nodi, come confermato anche da saggi effettuati su edifici esistenti. (...) Il passo delle staffe era molto variabile in funzione del compito ad esse affidato (assorbimento della sollecitazione tagliante o meno) mentre il diametro era tipicamente di 6 mm, raramente di 8 mm. Le armature adoperate sia nei pilastri che nelle travi erano sempre di tipo liscio.*”

Per quanto riguarda le sezioni in cui è sufficiente l'armatura minima ci si è basati sulle seguenti limitazioni:

- a) Sezione complessiva non inferiore a $3 \text{ cm}^2/\text{m}$
- b) Minimo 3 staffe ogni metro
- c) Passo minore uguale allo 0,8 dell'altezza utile della sezione (h')

Si è scelto quindi in queste sezioni di adottare staffe $\phi 6$ a due braccia ogni 20 cm.

Per il calcolo del passo delle staffe nelle sezioni in cui risulta non sufficiente l'armatura minima è stata utilizzata una formula data dal prontuario di calcolo LeMonnier⁸:

$$S_s = n f_s \sigma_a N_s \quad [4.16]$$

Con S_s sforzo totale agente in quel determinato concio di trave, n numero bracci, f_s area della sezione resistente e N_s numero di staffe.

Sapendo che $S_s = \frac{A_T}{z}$ si può ricavare dalla formula il numero di staffe N_s . Il passo tra le staffe è poi uguale al rapporto tra la lunghezza del tratto di trave interessato e il numero di staffe in quel tratto. Nella formula A_T corrisponde all'area del taglio nel concio di trave e z equivale a $0,9 h'$.

⁷ M. Vona e A. Masi, *Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata all'ingegneria, Università della Basilicata, Potenza, Italia*

⁸ *Prontuario per il calcolo di elementi strutturali*, ed. Le Monnier, stampa 1978

I risultati ottenuto dal foglio di calcolo mostrano che il passo necessario anche per le sezioni più sollecitate varia nell'intervallo tra i 18 e i 22 cm, si è quindi ipotizzato che il passo tenuto nell'esecuzione delle travi sia stato di norma 20 cm. (tabella 4.2)

Si evidenzia comunque che una parte del taglio viene con probabilità assorbita dai ferri piegati, come previsto dalla normativa consuetudine consolidata dell'epoca, per un massimo del 50% dello sforzo tagliante agente.

Si ipotizza una presenza di ferri piegati in grado di assorbire almeno il 40% del taglio agente. Questo valore deriva dalla valutazione dell'area dall'armatura longitudinale presente nelle travi e piegata alle estremità. Si riporta un esempio di un concio di trave (trave 4-5, telaio 7) con l'ipotesi di armatura a taglio costituita da ferri piegati.

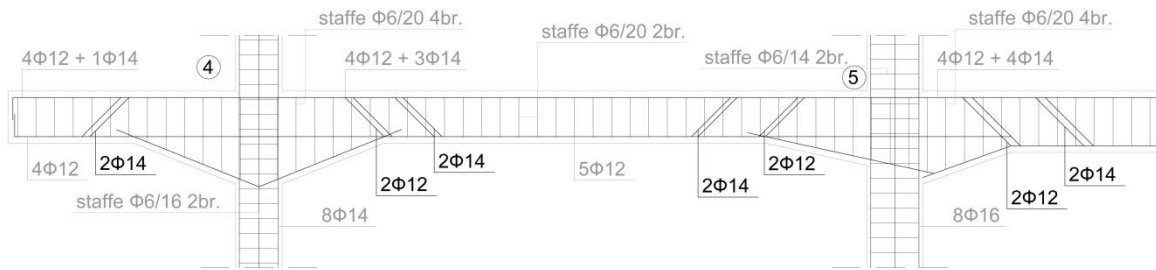


Figura 4.13: Schema distribuzione armatura con evidenziati i ferri piegati

Per determinare la quantità di sforzo di taglio assorbita dai ferri piegati si moltiplica l'area della sezione resistente dei ferri per la corrispondente tensione ammissibile dell'acciaio $\sigma_{a,amm}$. L'area dei ferri piegati viene ridotta di un fattore $\sqrt{2}$ dovuto all'inclinazione a 45° supposta⁹.

| SEZIONE | FERRI PIEGATI | AREA [cm ²] | T _{assorbito} [kN] | T _{Ed} [kN] | T _{assorbito} [%] |
|------------|---------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| Nodo 4, sx | 2 φ 14 | 2,17 | 34,7 | 76,5 | 45,0 |
| Nodo 4, dx | 2 φ12 + 2 φ14 | 3,78 | 60,5 | 129,4 | 46,7 |
| Nodo 5, sx | 2 φ12 + 2 φ14 | 3,78 | 60,5 | 125,9 | 48,1 |
| Nodo 5, dx | 2 φ12 + 2 φ14 | 3,78 | 60,5 | 143,7 | 42,1 |

Tabella 4.1: incidenza nell'assorbimento del taglio da parte dei ferri piegati nelle 4 sezioni

⁹ Prontuario del cemento armato, L. Santarella

4.5.2 - PILASTRI

Armatura longitudinale

L'armatura longitudinale dei pilastri è stata progettata considerando la sola pressione semplice, come era consuetudine all'epoca: *I pilastri venivano generalmente calcolati considerando soltanto i carichi verticali, ovvero a compressione semplice. Dallo studio delle relazioni di calcolo raramente si è riscontrato l'utilizzo di uno schema a telaio in cui venissero considerati gli effetti flessionali causati dal vento o dall'eccentricità di applicazione dei carichi verticali.*¹⁰

In particolare la verifica è stata effettuata per i pilastri dei piani inferiori essendo questi i più sollecitati a compressione.

Il foglio di calcolo elaborato in questo caso (tabella 4.3) prevede l'inserimento delle caratteristiche geometriche della sezione considerata e dello sforzo normale agente in ogni sezione. Questo, trasformato da kN*m a kg*cm è stato utilizzato per calcolare la tensione del solo calcestruzzo in ogni sezione, verificato che il calcestruzzo non è sempre sufficiente a sopportare la pressione agente è stata determinata l'area di armatura minima necessaria secondo le prescrizioni dell'epoca: *Le membrane sollecitate a pressione assiale centrata od eccentrica di sezione quadrata o poligonale regolare debbono avere un'armatura longitudinale di sezione non inferiore al 0,8% di quella del conglomerato strettamente necessaria, quando questa sia minore di 2000 cmq; non inferiore al 0,5% della sezione di conglomerato strettamente necessaria, quando questa sia maggiore di 8000 cmq, adottando per i casi intermedi la variazione lineare.*¹¹

Nel caso di studio in considerazione l'armatura minima dovrà essere non inferiore allo 0,8% dell'area della sezione strettamente necessaria, calcolata con la formula:

$$A_{s,n} = \frac{N}{\sigma_{c,amm}} \quad [4.17]$$

In cui $A_{s,n}$ è l'area della sezione strettamente necessaria a resistere allo sforzo normale agente N.

¹⁰ cap. 2.2.2 *Caratteristiche degli elementi strutturali*, Resistenza sismica di telai in c.a. progettati con il R.D. 2229/39

¹¹ Art. 30, R.D. 1939

In base all'area di armatura minima necessaria sono stati determinati il numero e il diametro dei ferri nelle varie sezioni, in particolare sono stati progettati ferri di diametro φ 16 e φ 14, quindi, omogeneizzando l'area di progetto dell'acciaio con quella del calcestruzzo, è stata calcolata la nuova tensione normale massima: *il calcolo delle tensioni massime del conglomerato e della armatura metallica (...) sono eseguiti con i metodi della scienza delle costruzioni per i solidi omogeni, assumendo per sezione resistente quella costituita dall'area del conglomerato che risulta compressa e dalle aree metalliche affette dal coefficiente $n=E_f/E_c$ e prescindendo di regola dalla presenza del conglomerato eventualmente teso.*¹²

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A+(nA_{s,d})} \quad [4.18]$$

Dove N è lo sforzo normale agente, A è l'area della sezione di calcestruzzo, A_{sd} è la sezione resistente dell'armatura di progetto.

Il coefficiente di omogeneizzazione n è stato preso uguale a 10, come indicato all'art. 22 del R.D. 1939: *n=E_f/E_c in mancanza di una diretta determinazione sperimentale, si assume di regola costante ed uguale a 10 per i conglomerati di cementi normali. (...)*

In quasi tutte le sezioni è risultata necessaria armatura superiore a quella minima prevista da normativa, tutte le sezioni vengono giustamente verificate. (tabella 4.3)

Armatura trasversale

Come per le travi, anche per i pilastri la normativa prescrive una staffatura minima, che è stata determinata in questo caso nello stesso foglio di calcolo. In particolare i pilastri devono essere muniti di *conveniente staffatura continua o discontinua con passo o distanza non superiore alla metà della dimensione minima della sezione né a 10 volte il diametro dei ferri dell'armatura longitudinale.*¹³

La condizione più restrittiva nel caso oggetto di studio è quella data dalla distanza minima pari a 10 volte il diametro dei ferri longitudinali, essendo questi stati progettati con diametro φ 16, il passo tra le staffe risulta essere di 16 cm. Come per le travi vengono

¹² Art. 29, R.D. 1939

¹³ Art. 30, R.D. 1939

prese staffe a due braccia con diametro del ferro ϕ 6, dettato dalla consuetudine dell'epoca. (tabella 4.3)

Stabilità al carico di punta

La normativa prevedeva anche la verifica di stabilità al carico di punta nel caso in cui il rapporto tra la lunghezza libera di inflessione e la minore delle dimensioni della sezione trasversale fosse maggiore di 15 (art. 30 R.D. 1939).

Si è quindi determinato nello stesso foglio di calcolo il rapporto tra queste due grandezze per tutte le sezioni prestabilite, essendo che tutte le sezioni hanno rapporto minore di 15, non è stato necessario effettuare questo tipo di verifica. (tabella 4.4.)

4.5.3. SETTI

Per strutture in c.a. intese come setti e pareti, sottoposte prevalentemente a sforzo assiale, quando la compressione media risulti non superiore al limite seguente:

$$\sigma_{media} \leq 0,42[1 - 0.03 (25 - s)]\sigma_{c,amm} \quad [4.19]$$

Essendo σ_c la tensione ammissibile nel calcestruzzo (pari a $77,8 \text{ kg/cm}^2$) ed s lo spessore della parete espresso in cm; si potranno adottare per le armature da disporre le seguenti limitazioni dimensionali:

- a) Diametro minimo delle barre longitudinali = 8 mm
Interasse massimo $\leq 30 \text{ cm}$
- b) Diametro minimo delle barre trasversali = 5 mm
Interasse massimo $\leq 30 \text{ cm}$ o 20ϕ
- c) Elementi di collegamento tra le due armature disposte su facce parallele: 6 per ogni m^2 di parete

Poiché tutti i setti hanno tensione media (calcolata col rapporto tra lo sforzo normale agente e l'area resistente del setto) inferiore a questo limite si prevede che abbiano

l'armatura prevista dalle limitazioni riportate sopra, come indicato dal manuale Le Monnier¹⁴.

Un'ipotesi di armatura potrebbe quindi essere una doppia rete elettrosaldata con diametro della sezione resistente ϕ 8 e passo 20 cm e armatura di collegamento tra le reti ϕ 6 ogni m^2 .

¹⁴ *Prontuario per il calcolo di elementi strutturali*, ed. Le Monnier, stampa 1978

4.6. VALUTAZIONI FINALI

La progettazione della struttura in oggetto è stata svolta con i criteri delle tensioni ammissibili che prevedono di rimanere nei limiti del comportamento elastico dell'acciaio di armatura. Le verifiche svolte applicano quindi tensioni ammissibili dell'acciaio in fase elastica, prima dello snervamento.

La struttura così progettata acquisisce perciò delle riserve di resistenza che potrebbero intervenire nel caso di verifica allo stato limite ultimo nei confronti delle sollecitazioni sismiche, quali previste dalla normativa successiva all'epoca di realizzazione del fabbricato.

Questa riserva può essere sfruttata per quanto riguarda l'armatura longitudinale delle travi che entrando in fase plastica rispettano comunque la gerarchia delle resistenze prevista dalle verifiche agli stati limite, non è invece utile per quanto riguarda l'armatura a taglio che risulterà quindi con probabilità insufficiente. Le dimensioni della sezione resistente dei bracci delle staffe sono infatti minime e il passo tra esse, come definito dalla normativa vigente all'epoca di costruzione, è insufficiente ad attribuire alle staffe una adeguata capacità di resistenza a taglio come sarà richiesta dal calcolo sismico.

Tabella 4.1

TELAIO 1

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lemba [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|-------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| 1..2 | 30 | 100 | 96 | 85,9 | - | 6,21 | 4,97 | 7,50 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 19,67 | 26,04 | 1010,92 |
| | 30 | 56 | 52 | 11,7 | + | 1,56 | | 4,20 | 4φ12 | 4,52 | 11,10 | 14,55 | 535,93 |
| | 30 | 56 | 52 | 51,7 | + | 6,90 | | 4,20 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 13,89 | 52,37 | 1436,11 |
| | 30 | 56 | 52 | 36,4 | - | 4,86 | | 4,20 | 5φ12 | 5,66 | 12,25 | 41,35 | 1342,12 |
| | 30 | 80 | 76 | 169,0 | - | 15,44 | 12,35 | 6,00 | 5φ12 + 6φ14 | 14,90 | 22,95 | 57,45 | 1327,58 |
| 2..3 | 30 | 100 | 96 | 200,0 | - | 14,47 | 11,57 | 7,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 23,84 | 50,80 | 1537,32 |
| | 30 | 66 | 62 | 87,1 | - | 9,76 | | 4,95 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 17,47 | 59,17 | 1508,23 |
| | 30 | 66 | 62 | 84,5 | + | 9,46 | | 4,95 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 18,51 | 54,51 | 1280,49 |
| | 30 | 66 | 62 | 36,2 | - | 4,05 | | 4,95 | 5φ12 | 5,66 | 13,52 | 31,04 | 1112,46 |
| | 30 | 100 | 96 | 134,7 | - | 9,74 | 7,80 | 7,50 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 22,45 | 36,15 | 1184,24 |
| 3..3' | 30 | 66 | 62 | 18,7 | - | 2,09 | 1,68 | 4,95 | 5φ12 | 5,66 | 13,52 | 12,83 | 459,74 |
| 4'..4 | 30 | 56 | 52 | 43,3 | - | 5,78 | | 4,20 | 4φ12 + 1φ14 | 6,06 | 12,61 | 47,88 | 1494,96 |
| | 30 | 100 | 96 | 134,9 | - | 9,76 | 7,81 | 7,50 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 21,33 | 37,95 | 1328,32 |
| 4..5 | 30 | 100 | 96 | 134,3 | - | 9,71 | 7,77 | 7,50 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 21,33 | 37,78 | 1322,41 |
| | 30 | 56 | 52 | 31,9 | - | 4,26 | | 4,20 | 4φ12 + 1φ14 | 6,06 | 12,61 | 35,27 | 1101,37 |
| | 30 | 56 | 52 | 40,2 | + | 5,37 | | 4,20 | 4φ12 + 1φ14 | 6,06 | 12,61 | 44,45 | 1387,93 |
| | 30 | 56 | 52 | 21,0 | - | 2,80 | | 4,20 | 4φ12 | 4,52 | 11,10 | 26,11 | 961,92 |
| | 30 | 80 | 76 | 127,8 | - | 11,68 | 9,34 | 6,00 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 20,85 | 47,35 | 1252,66 |
| 5..6 | 30 | 100 | 96 | 163,4 | - | 11,82 | 9,46 | 7,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 23,84 | 41,51 | 1255,99 |
| | 30 | 66 | 62 | 65,1 | - | 7,29 | | 4,95 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 15,37 | 49,64 | 1506,03 |
| | 30 | 66 | 62 | 74,5 | + | 8,34 | | 4,95 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 16,32 | 53,82 | 1507,04 |
| | 30 | 66 | 62 | 73,3 | - | 8,21 | | 4,95 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 16,32 | 52,95 | 1482,76 |
| | 30 | 100 | 96 | 174,2 | - | 12,60 | 10,08 | 7,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 23,84 | 44,25 | 1339,01 |
| 6..6' | 30 | 105 | 101 | 153,8 | - | 10,57 | 8,46 | 7,88 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 24,55 | 36,00 | 1121,49 |
| | 30 | 66 | 62 | 72,0 | - | 8,06 | | 4,95 | 4φ12 + 3φ14 | 9,10 | 16,60 | 51,22 | 1401,17 |
| 7'..7 | 30 | 56 | 52 | 43,3 | - | 5,78 | | 4,20 | 4φ12 + 1φ14 | 6,06 | 12,61 | 47,88 | 1494,96 |
| | 30 | 100 | 96 | 134,9 | - | 9,76 | 7,81 | 7,50 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 21,33 | 37,95 | 1328,32 |
| 7..8 | 30 | 100 | 96 | 123,9 | - | 8,96 | 7,17 | 7,50 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 21,33 | 34,85 | 1220,01 |
| | 30 | 56 | 52 | 27,4 | - | 3,66 | | 4,20 | 4φ12 + 1φ14 | 6,06 | 12,61 | 30,30 | 946,00 |
| | 30 | 56 | 52 | 42,7 | + | 5,70 | | 4,20 | 5φ12 | 5,66 | 12,25 | 48,51 | 1574,41 |
| | 30 | 56 | 52 | 25,1 | - | 3,35 | | 4,20 | 4φ12 | 4,52 | 11,10 | 31,21 | 1149,72 |
| | 30 | 80 | 76 | 134,7 | - | 12,31 | 9,85 | 6,00 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 20,85 | 49,91 | 1320,29 |
| 8..9 | 30 | 100 | 96 | 167,9 | - | 12,15 | 9,72 | 7,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 23,84 | 42,65 | 1290,58 |
| | 30 | 66 | 62 | 68,6 | - | 7,68 | | 4,95 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 16,63 | 48,72 | 1329,40 |
| | 30 | 66 | 62 | 76,2 | + | 8,53 | | 4,95 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 16,32 | 55,05 | 1541,42 |
| | 30 | 66 | 62 | 70,0 | - | 7,84 | | 4,95 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 18,51 | 45,15 | 1060,76 |
| | 30 | 100 | 96 | 169,7 | - | 12,28 | 9,82 | 7,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 23,84 | 43,11 | 1304,42 |
| 9..9' | 30 | 105 | 101 | 153,8 | - | 10,57 | 8,46 | 7,88 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 21,95 | 39,89 | 1436,92 |
| | 30 | 66 | 62 | 72,0 | - | 8,06 | | 4,95 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 16,63 | 51,13 | 1395,29 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lembo [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|---------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| 10'..10 | 30 | 56 | 52 | 43,3 | - | 5,78 | | 4,20 | 4φ12 + 1φ14 | 6,06 | 12,61 | 47,88 | 1494,96 |
| | 30 | 100 | 96 | 134,9 | - | 9,76 | 7,81 | 7,50 | 4φ12 + 3φ14 | 9,10 | 21,29 | 38,01 | 1333,96 |
| 10..11 | 30 | 100 | 96 | 127,0 | - | 9,19 | 7,35 | 7,50 | 4φ12 + 3φ14 | 9,10 | 21,29 | 35,79 | 1255,84 |
| | 30 | 56 | 52 | 28,5 | - | 3,81 | | 4,20 | 4φ12 + 1φ14 | 6,06 | 12,61 | 31,51 | 983,98 |
| | 30 | 56 | 52 | 41,3 | + | 5,52 | | 4,20 | 5φ12 | 5,66 | 12,25 | 46,92 | 1522,79 |
| | 30 | 56 | 52 | 25,2 | - | 3,37 | | 4,20 | 4φ12 | 4,52 | 11,10 | 31,33 | 1154,30 |
| 11..12 | 30 | 80 | 76 | 134,0 | - | 12,24 | 9,80 | 6,00 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 20,85 | 49,65 | 1313,43 |
| | 30 | 100 | 96 | 165,7 | - | 11,99 | 9,59 | 7,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 23,84 | 42,09 | 1273,67 |
| | 30 | 66 | 62 | 70,0 | - | 7,84 | | 4,95 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 15,37 | 53,38 | 1619,39 |
| | 30 | 66 | 62 | 75,6 | + | 8,47 | | 4,95 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 16,32 | 54,62 | 1529,29 |
| 12..12' | 30 | 66 | 62 | 72,0 | - | 8,06 | | 4,95 | 4φ12 + 4φ14 | 10,68 | 17,75 | 48,22 | 1202,06 |
| | 30 | 100 | 96 | 172,4 | - | 12,47 | 9,98 | 7,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 23,84 | 43,79 | 1325,17 |
| | 30 | 105 | 101 | 153,8 | - | 10,57 | 8,46 | 7,88 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 24,55 | 36,00 | 1121,49 |
| | 30 | 66 | 62 | 72,0 | - | 8,06 | | 4,95 | 4φ12 + 3φ14 | 9,14 | 16,63 | 51,13 | 1395,29 |
| 13'..13 | 30 | 56 | 52 | 19,6 | - | 2,62 | | 4,20 | 4φ12 | 4,52 | 11,10 | 24,37 | 897,79 |
| | 30 | 100 | 96 | 61,7 | - | 4,46 | 3,57 | 7,50 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 19,67 | 18,71 | 726,12 |
| 13..14 | 30 | 100 | 96 | 63,1 | - | 4,56 | 3,65 | 7,50 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 19,67 | 19,13 | 742,59 |
| | 30 | 56 | 52 | 8,4 | - | 1,12 | | 4,20 | 4φ12 | 4,52 | 11,10 | 10,44 | 384,77 |
| | 30 | 56 | 52 | 28,3 | + | 3,78 | | 4,20 | 4φ12 | 4,52 | 11,10 | 35,19 | 1296,30 |
| | 30 | 56 | 52 | 20,8 | - | 2,78 | | 4,20 | 5φ12 | 5,66 | 12,25 | 23,63 | 766,92 |
| | 30 | 80 | 76 | 89,8 | - | 8,21 | 6,56 | 6,00 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 17,25 | 39,52 | 1345,59 |
| 14..15 | 30 | 100 | 96 | 100,2 | - | 7,25 | 5,80 | 7,50 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 19,67 | 30,38 | 1179,21 |
| | 30 | 66 | 62 | 44,2 | - | 4,95 | | 4,95 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 15,37 | 33,71 | 1022,53 |
| | 30 | 66 | 62 | 39,2 | + | 4,39 | | 4,95 | 5φ12 | 5,66 | 13,52 | 33,61 | 1204,66 |
| | 30 | 66 | 62 | 44,2 | - | 4,95 | | 4,95 | 5φ12 | 5,66 | 13,52 | 37,90 | 1358,31 |
| | 30 | 100 | 96 | 100,2 | - | 7,25 | 5,80 | 7,50 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 20,92 | 28,70 | 1030,20 |
| 15..15' | 30 | 105 | 101 | 71,2 | - | 4,90 | 3,92 | 7,88 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 21,52 | 18,81 | 694,60 |
| | 30 | 66 | 62 | 33,2 | - | 3,72 | | 4,95 | 5φ12 | 5,66 | 13,52 | 28,47 | 1020,27 |

TELAIO 7

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lembo [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|-------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|---------|---------|
| 1'..1 | 40 | 56 | 52 | 55,7 | - | 7,44 | | 5,60 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 12,28 | 47,32 | 1529,89 |
| | 40 | 100 | 96 | 173,5 | - | 12,55 | 10,04 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 39,22 | 1510,24 |
| 1..2 | 40 | 100 | 96 | 184,5 | - | 13,35 | 10,68 | 10,00 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 21,05 | 39,41 | 1403,32 |
| | 40 | 56 | 52 | 32,5 | - | 4,34 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 31,09 | 1186,36 |
| | 40 | 56 | 52 | 52,3 | + | 6,98 | | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 42,06 | 1255,79 |
| | 40 | 56 | 52 | 33,6 | - | 4,49 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 32,14 | 1226,51 |
| 2..3 | 40 | 80 | 76 | 192,0 | - | 17,54 | 14,04 | 8,00 | 5φ12 + 6φ14 | 14,90 | 20,36 | 54,50 | 1489,41 |
| | 40 | 100 | 96 | 206,3 | - | 14,92 | 11,94 | 10,00 | 5φ12 + 6φ14 | 14,90 | 23,28 | 40,18 | 1255,25 |
| | 40 | 66 | 62 | 91,2 | - | 10,22 | | 6,60 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 15,47 | 51,87 | 1560,67 |
| | 40 | 66 | 62 | 81,1 | + | 9,08 | | 6,60 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 15,47 | 46,12 | 1387,83 |
| 40 | 66 | 62 | 49,9 | - | 5,59 | | 6,60 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 13,57 | 32,00 | 1142,32 | |
| | 40 | 100 | 96 | 155,3 | - | 11,23 | 8,99 | 10,00 | 4φ12 + 4φ14 | 10,68 | 20,13 | 34,56 | 1302,82 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lembo [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|---------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| 3..3' | 40 | 66 | 62 | 25,3 | - | 2,83 | 2,27 | 6,60 | 4φ12 + 2φ14 | 7,60 | 13,57 | 12,98 | 463,34 |
| 4'..4 | 40 | 56 | 52 | 30,6 | - | 4,09 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,27 | 1117,00 |
| | 40 | 100 | 96 | 95,9 | - | 6,94 | 5,55 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 21,68 | 834,77 |
| 4..5 | 40 | 100 | 96 | 136,5 | - | 9,87 | 7,90 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 30,86 | 1188,17 |
| | 40 | 56 | 52 | 1,0 | - | 0,13 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 0,96 | 36,50 |
| | 40 | 56 | 52 | 62,5 | + | 8,35 | | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 50,27 | 1500,71 |
| | 40 | 56 | 52 | 50,8 | - | 6,78 | | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 40,86 | 1219,78 |
| 5..6 | 40 | 80 | 76 | 217,1 | - | 19,84 | 15,87 | 8,00 | 5φ12 + 7φ14 | 16,44 | 21,22 | 59,37 | 1532,71 |
| | 40 | 100 | 96 | 173,3 | - | 12,54 | 10,03 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 39,18 | 1508,50 |
| | 40 | 66 | 62 | 66,9 | - | 7,49 | | 6,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 14,42 | 40,56 | 1338,35 |
| | 40 | 66 | 62 | 68,3 | + | 7,65 | | 6,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 14,42 | 41,41 | 1366,35 |
| | 40 | 66 | 62 | 100,4 | - | 11,25 | | 6,60 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 16,41 | 54,10 | 1502,61 |
| 6..6' | 40 | 100 | 96 | 215,5 | - | 15,59 | 12,47 | 10,00 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 22,20 | 43,82 | 1456,47 |
| | 40 | 105 | 101 | 198,4 | - | 13,64 | 10,91 | 10,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 21,65 | 39,08 | 1431,84 |
| | 40 | 66 | 62 | 92,9 | - | 10,41 | | 6,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 13,25 | 60,89 | 2240,69 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,6 | - | 4,09 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,27 | 1117,00 |
| 7'..7 | 40 | 100 | 96 | 95,9 | - | 6,94 | 5,55 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 21,68 | 834,77 |
| | 40 | 100 | 96 | 127,0 | - | 9,19 | 7,35 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 28,71 | 1105,48 |
| 7..8 | 40 | 56 | 52 | 5,2 | - | 0,69 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 4,97 | 189,82 |
| | 40 | 56 | 52 | 62,6 | + | 8,36 | | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 50,35 | 1503,11 |
| | 40 | 56 | 52 | 55,9 | - | 7,47 | | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 44,96 | 1342,23 |
| | 40 | 80 | 76 | 214,8 | - | 19,63 | 15,70 | 8,00 | 5φ12 + 8φ14 | 17,98 | 22,03 | 56,81 | 1392,02 |
| 8..9 | 40 | 100 | 96 | 172,8 | - | 12,50 | 10,00 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 39,06 | 1504,14 |
| | 40 | 66 | 62 | 66,4 | - | 7,44 | | 6,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 14,42 | 40,26 | 1328,34 |
| | 40 | 66 | 62 | 70,3 | + | 7,87 | | 6,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 14,42 | 42,62 | 1406,36 |
| | 40 | 66 | 62 | 98,5 | - | 11,03 | | 6,60 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 16,41 | 53,08 | 1474,18 |
| | 40 | 100 | 96 | 215,2 | - | 15,57 | 12,45 | 10,00 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 22,20 | 43,76 | 1454,44 |
| 9..9' | 40 | 105 | 101 | 198,3 | - | 13,63 | 10,91 | 10,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 21,65 | 39,06 | 1431,12 |
| | 40 | 66 | 62 | 92,8 | - | 10,39 | | 6,60 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 16,41 | 50,01 | 1388,87 |
| 10'..10 | 40 | 56 | 52 | 85,7 | - | 11,44 | | 5,60 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 14,82 | 61,43 | 1540,71 |
| | 40 | 100 | 96 | 173,5 | - | 12,55 | 10,04 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 39,22 | 1510,24 |
| 10..11 | 40 | 100 | 96 | 167,0 | - | 12,08 | 9,66 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 37,75 | 1453,66 |
| | 40 | 56 | 52 | 22,7 | - | 3,03 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 21,72 | 828,63 |
| | 40 | 56 | 52 | 51,7 | + | 6,90 | | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 44,88 | 1495,95 |
| | 40 | 56 | 52 | 46,2 | - | 6,17 | | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 40,10 | 1336,81 |
| 11..11' | 40 | 80 | 76 | 213,5 | - | 19,51 | 15,61 | 8,00 | 5φ12 + 7φ14 | 16,44 | 21,22 | 58,39 | 1507,30 |
| | 40 | 100 | 96 | 173,7 | - | 12,57 | 10,05 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 39,27 | 1511,98 |
| | 40 | 66 | 62 | 66,4 | - | 7,44 | | 6,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 14,42 | 40,26 | 1328,34 |
| | 40 | 66 | 62 | 72,3 | + | 8,10 | | 6,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 14,42 | 43,83 | 1446,37 |
| | 40 | 66 | 62 | 93,7 | - | 10,50 | | 6,60 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 16,41 | 50,49 | 1402,34 |
| 12..13 | 40 | 100 | 96 | 209,3 | - | 15,14 | 12,11 | 10,00 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 22,20 | 42,56 | 1414,57 |
| | 40 | 105 | 101 | 198,4 | - | 13,64 | 10,91 | 10,50 | 5φ12 + 3φ14 | 11,69 | 21,55 | 39,25 | 1447,23 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lemba [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|---------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| | 40 | 66 | 62 | 92,9 | - | 10,41 | | 6,60 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 16,41 | 50,06 | 1390,37 |
| 13'..13 | 40 | 56 | 52 | 36,5 | - | 4,87 | | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 31,68 | 1056,13 |
| | 40 | 100 | 96 | 114,3 | - | 8,27 | 6,61 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 25,84 | 994,93 |
| 13..14 | 40 | 100 | 96 | 99,3 | - | 7,18 | 5,75 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 22,45 | 864,36 |
| | 40 | 56 | 52 | 64,6 | - | 8,63 | | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 51,95 | 1551,13 |
| | 40 | 56 | 52 | 56,2 | + | 7,51 | | 5,60 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 13,98 | 42,46 | 1154,82 |
| | 40 | 56 | 52 | 89,1 | - | 11,90 | | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 61,04 | 1424,98 |
| | 40 | 80 | 76 | 153,6 | - | 14,04 | 11,23 | 8,00 | 5φ12 + 6φ14 | 14,90 | 20,36 | 43,60 | 1191,53 |
| 14..14' | 40 | 100 | 96 | 96,3 | - | 6,97 | 5,57 | 10,00 | 5φ12 + 6φ14 | 14,90 | 23,28 | 18,75 | 585,95 |
| | 40 | 66 | 62 | 110,5 | - | 12,38 | | 6,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 17,28 | 56,84 | 1470,68 |
| | 40 | 66 | 62 | 49,1 | + | 5,50 | | 6,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 13,25 | 32,18 | 1184,26 |
| | 40 | 66 | 62 | 17,4 | - | 1,95 | | 6,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 13,25 | 11,40 | 419,68 |
| | 40 | 100 | 96 | 80,0 | - | 5,79 | 4,63 | 10,00 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 21,05 | 17,09 | 608,48 |
| 15..16 | 40 | 105 | 101 | 155,3 | - | 10,68 | 8,54 | 10,50 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 21,65 | 30,59 | 1120,79 |
| | 40 | 66 | 62 | 72,6 | - | 8,13 | | 6,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 14,42 | 44,02 | 1452,38 |

TELAIO 13

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lemba [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|-------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| 1..2 | 40 | 100 | 96 | 45,0 | - | 3,26 | 2,60 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 10,17 | 391,70 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,5 | + | 0,47 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 3,35 | 127,76 |
| | 40 | 56 | 52 | 31,1 | + | 4,15 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,75 | 1135,25 |
| | 40 | 56 | 52 | 21,0 | - | 2,80 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 20,09 | 766,57 |
| | 40 | 100 | 96 | 82,4 | - | 5,96 | 4,77 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 18,63 | 717,25 |
| 2..3 | 40 | 56 | 52 | 56,8 | - | 7,59 | 6,07 | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 39,44 | 1314,81 |
| | 40 | 56 | 52 | 25,8 | + | 3,45 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 24,68 | 941,79 |
| | 40 | 56 | 52 | 78,7 | - | 10,51 | 8,41 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 50,64 | 1511,75 |
| 3..3' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 4..5 | 40 | 100 | 96 | 47,8 | - | 3,46 | 2,77 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 10,81 | 416,08 |
| | 40 | 56 | 52 | 1,6 | + | 0,21 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 1,53 | 58,41 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,9 | + | 4,13 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,56 | 1127,95 |
| | 40 | 56 | 52 | 19,6 | - | 2,62 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 18,75 | 715,47 |
| | 40 | 100 | 96 | 80,9 | - | 5,85 | 4,68 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 18,29 | 704,20 |
| 5..6 | 40 | 56 | 52 | 53,2 | - | 7,10 | 5,68 | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 36,94 | 1231,48 |
| | 40 | 56 | 52 | 26,7 | + | 3,57 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 25,54 | 974,64 |
| | 40 | 56 | 52 | 81,3 | - | 10,86 | 8,69 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 52,31 | 1561,70 |
| 6..6' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 7..8 | 40 | 100 | 96 | 49,7 | - | 3,60 | 2,88 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 11,24 | 432,62 |
| | 40 | 56 | 52 | 0,5 | + | 0,07 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 0,48 | 18,25 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,7 | + | 4,10 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,37 | 1120,65 |
| | 40 | 56 | 52 | 18,3 | - | 2,44 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 17,51 | 668,01 |
| | 40 | 100 | 96 | 78,5 | - | 5,68 | 4,54 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 17,75 | 683,31 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lembo [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|---------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| 8..9 | 40 | 56 | 52 | 50,7 | - | 6,77 | 5,42 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 38,80 | 1480,58 |
| | 40 | 56 | 52 | 27,1 | + | 3,62 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 25,93 | 989,24 |
| | 40 | 56 | 52 | 83,5 | - | 11,15 | 8,92 | 5,60 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 13,98 | 50,47 | 1372,63 |
| 9..9' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 10..11 | 40 | 100 | 96 | 50,6 | - | 3,66 | 2,93 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 11,44 | 440,45 |
| | 40 | 56 | 52 | 0,1 | + | 0,01 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 0,10 | 3,65 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,9 | + | 4,13 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,56 | 1127,95 |
| | 40 | 56 | 52 | 17,2 | - | 2,30 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 16,45 | 627,86 |
| | 40 | 100 | 96 | 77,1 | - | 5,58 | 4,46 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 17,43 | 671,12 |
| 11..12 | 40 | 56 | 52 | 49,1 | - | 6,56 | 5,25 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 37,58 | 1433,85 |
| | 40 | 56 | 52 | 27,2 | + | 3,63 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 26,02 | 992,89 |
| | 40 | 56 | 52 | 85,0 | - | 11,35 | 9,08 | 5,60 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 13,98 | 51,38 | 1397,29 |
| 12..12' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 13..14 | 40 | 100 | 96 | 48,4 | - | 3,50 | 2,80 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 10,94 | 421,30 |
| | 40 | 56 | 52 | 1,1 | + | 0,15 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 1,05 | 40,15 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,5 | + | 4,07 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,18 | 1113,35 |
| | 40 | 56 | 52 | 19,5 | - | 2,60 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 18,66 | 711,82 |
| | 40 | 100 | 96 | 80,5 | - | 5,82 | 4,66 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 18,20 | 700,72 |
| 14..15 | 40 | 56 | 52 | 46,8 | - | 6,25 | 5,00 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 35,82 | 1366,69 |
| | 40 | 56 | 52 | 28,4 | + | 3,79 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 0,00 | 0,00 |
| | 40 | 56 | 52 | 85,3 | - | 11,39 | 9,11 | 5,60 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 13,98 | 51,56 | 1402,22 |
| 15..15' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 16..17 | 40 | 100 | 96 | 26,8 | - | 1,94 | 1,55 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 6,06 | 233,28 |
| | 40 | 56 | 52 | 8,8 | + | 1,18 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 8,42 | 321,23 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,2 | + | 4,03 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 28,89 | 1102,40 |
| | 40 | 56 | 52 | 6,2 | - | 0,83 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 5,93 | 226,32 |
| | 40 | 100 | 96 | 49,9 | - | 3,61 | 2,89 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 11,28 | 434,36 |
| 17..18 | 40 | 56 | 52 | 29,5 | - | 3,94 | 3,15 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 22,58 | 861,48 |
| | 40 | 56 | 52 | 13,8 | + | 1,84 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 13,20 | 503,75 |
| | 40 | 56 | 52 | 84,9 | - | 11,34 | 9,07 | 5,60 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 13,98 | 51,32 | 1395,64 |
| 18..18' | 40 | 56 | 52 | 106,5 | - | 14,22 | 11,38 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 58,37 | 1362,61 |

TELAIO 17

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lembo [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|-------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| 4'..4 | 40 | 56 | 52 | 31,3 | - | 4,18 | 3,34 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 23,96 | 914,04 |
| 4..5 | 40 | 100 | 96 | 48,3 | - | 3,49 | 2,80 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 10,92 | 420,43 |
| | 40 | 56 | 52 | 0,9 | + | 0,12 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 0,86 | 32,85 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,0 | + | 4,01 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 28,70 | 1095,10 |
| | 40 | 56 | 52 | 22,8 | - | 3,04 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 21,81 | 832,28 |
| | 40 | 100 | 96 | 84,6 | - | 6,12 | 4,90 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 19,12 | 736,40 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lemba [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|---------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| 5..6 | 40 | 56 | 52 | 58,0 | - | 7,75 | 6,20 | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 40,28 | 1342,59 |
| | 40 | 56 | 52 | 24,7 | + | 3,30 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 23,63 | 901,63 |
| | 40 | 56 | 52 | 79,5 | - | 10,62 | 8,49 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 51,15 | 1527,12 |
| 6..6' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 7'..7 | 40 | 56 | 52 | 31,3 | - | 4,18 | 3,34 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 23,96 | 914,04 |
| 7..8 | 40 | 100 | 96 | 44,5 | - | 3,22 | 2,58 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 10,06 | 387,35 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,4 | + | 0,32 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 2,30 | 87,61 |
| | 40 | 56 | 52 | 27,9 | + | 3,73 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 26,69 | 1018,44 |
| | 40 | 56 | 52 | 27,3 | - | 3,65 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 26,12 | 996,54 |
| | 40 | 100 | 96 | 90,5 | - | 6,55 | 5,24 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 20,46 | 787,76 |
| 8..9 | 40 | 56 | 52 | 56,7 | - | 7,57 | 6,06 | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 39,38 | 1312,50 |
| | 40 | 56 | 52 | 26,1 | + | 3,49 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 24,97 | 952,74 |
| | 40 | 56 | 52 | 78,4 | - | 10,47 | 8,38 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 50,44 | 1505,99 |
| 9..9' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 10'..10 | 40 | 56 | 52 | 31,3 | - | 4,18 | 3,34 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 23,96 | 914,04 |
| 10..11 | 40 | 100 | 96 | 43,5 | - | 3,15 | 2,52 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 9,83 | 378,65 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,0 | + | 0,40 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 2,87 | 109,51 |
| | 40 | 56 | 52 | 28,1 | + | 3,75 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 26,88 | 1025,74 |
| | 40 | 56 | 52 | 28,2 | - | 3,77 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 26,98 | 1029,39 |
| | 40 | 100 | 96 | 92,1 | - | 6,66 | 5,33 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 20,82 | 801,69 |
| | 40 | 56 | 52 | 57,1 | - | 7,63 | 6,10 | 5,60 | 5φ12 + 1φ14 | 7,20 | 12,00 | 39,65 | 1321,76 |
| 11..12 | 40 | 56 | 52 | 25,8 | + | 3,45 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 24,68 | 941,79 |
| | 40 | 56 | 52 | 78,9 | - | 10,54 | 8,43 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 50,76 | 1515,60 |
| | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 12..12' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 13'..13 | 40 | 56 | 52 | 31,3 | - | 4,18 | 3,34 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 23,96 | 914,04 |
| 13..14 | 40 | 100 | 96 | 34,5 | - | 2,50 | 2,00 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 7,80 | 300,31 |
| | 40 | 56 | 52 | 10,0 | + | 1,34 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 9,57 | 365,03 |
| | 40 | 56 | 52 | 30,9 | + | 4,13 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 29,56 | 1127,95 |
| | 40 | 56 | 52 | 29,9 | - | 3,99 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 28,60 | 1091,45 |
| | 40 | 100 | 96 | 94,8 | - | 6,86 | 5,49 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 21,43 | 825,19 |
| 14..14' | 40 | 56 | 52 | 70,0 | - | 9,35 | 7,48 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 45,04 | 1344,64 |
| | 40 | 56 | 52 | 25,9 | + | 3,46 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 24,78 | 945,44 |
| | 40 | 56 | 52 | 73,2 | - | 9,78 | 7,82 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 47,10 | 1406,10 |
| 15..15' | 40 | 56 | 52 | 111,2 | - | 14,85 | 11,88 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 60,94 | 1422,74 |
| 16'..16 | 40 | 56 | 52 | 106,5 | - | 14,22 | 11,38 | 5,60 | 5φ12 + 4φ14 | 11,82 | 14,82 | 61,07 | 1531,72 |
| 16..17 | 40 | 100 | 96 | 85,3 | - | 6,17 | 4,94 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 19,28 | 742,50 |
| | 40 | 56 | 52 | 36,9 | + | 4,93 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 35,30 | 1346,97 |
| | 40 | 56 | 52 | 8,5 | + | 1,14 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 8,13 | 310,28 |
| | 40 | 56 | 52 | 7,5 | - | 1,00 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 7,18 | 273,78 |
| | 40 | 100 | 96 | 40,9 | - | 2,96 | 2,37 | 10,00 | 5φ12 + 3φ14 | 10,28 | 19,79 | 9,25 | 356,02 |
| 17..18 | 40 | 56 | 52 | 29,1 | - | 3,89 | 3,11 | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 22,27 | 849,80 |

| trave | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | Mnodo [KN*m] | (+/-) | As [cm ²] | As,lembo [cm ²] | As,min [cm ²] | nf/φ [mm] | As,d [cm ²] | yasse neutro | σc,max | σa,max |
|---------|--------|-----------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------|---------|
| | 40 | 56 | 52 | 15,8 | + | 2,11 | | 5,60 | 5φ12 | 5,66 | 10,80 | 15,12 | 576,75 |
| | 40 | 56 | 52 | 81,1 | - | 10,83 | 8,66 | 5,60 | 5φ12 + 2φ14 | 8,74 | 13,05 | 52,18 | 1557,86 |
| 18..18' | 40 | 56 | 52 | 111,7 | - | 14,92 | 11,93 | 5,60 | 5φ12 + 5φ14 | 13,36 | 15,59 | 61,22 | 1429,14 |

Tabella 4.2

TELAIO 1

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm ²] | τ lembo [kg/cm ²] | τc < τc,amm | staffe | fs [cm ²] | s [cm] |
|-------------|--------|-----------|---------|---------|----------|-------------------------|-------------------------------|-------------|----------|-----------------------|--------|
| trave 1..2 | 30 | 100 | 96 | 3,43 | 93,2 | 3,60 | 3,31 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 30 | 56 | 52 | 2,42 | 40,9 | 2,91 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 30 | 56 | 52 | 2,42 | 71,2 | 5,07 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 24,0 |
| | 30 | 80 | 76 | 3,43 | 127,4 | 6,21 | 5,71 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,6 |
| trave 2..3 | 30 | 100 | 96 | 3,55 | 150,8 | 5,82 | 5,35 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,9 |
| | 30 | 66 | 62 | 2,55 | 106,4 | 6,36 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,1 |
| | 30 | 66 | 62 | 2,55 | 95,7 | 5,72 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 21,3 |
| | 30 | 100 | 96 | 3,55 | 130,1 | 5,02 | 4,62 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 24,2 |
| trave 3..3' | 30 | 66 | 62 | 2,40 | 44,0 | 2,63 | 2,42 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 4'..4 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 59,7 | 3,19 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 106,8 | 3,09 | 2,84 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 4..5 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 100,1 | 2,90 | 2,66 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 60,5 | 3,23 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 53,2 | 2,84 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 106,9 | 3,91 | 3,59 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 5..6 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 132,3 | 3,83 | 3,52 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 99,7 | 4,47 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,4 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 101,4 | 4,54 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,1 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 134,0 | 3,88 | 3,57 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 6..6' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 114,6 | 3,15 | 2,90 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 77,8 | 3,49 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 7'..7 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 59,7 | 3,19 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 106,8 | 3,09 | 2,84 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 7..8 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 97,7 | 2,83 | 2,60 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 58,1 | 3,10 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 55,6 | 2,97 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 109,0 | 3,98 | 3,67 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 8..9 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 133,7 | 3,87 | 3,56 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 101,0 | 4,53 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 100,0 | 4,48 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,4 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 132,7 | 3,84 | 3,53 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 9..9' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 114,6 | 3,15 | 2,90 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm ²] | τ lembo [kg/cm ²] | $\tau_c < \tau_{c,amm}$ | staffe | fs [cm ²] | s [cm] |
|---------------|--------|-----------|---------|---------|----------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|--------|
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 77,8 | 3,49 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 10'..10 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 59,7 | 3,19 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 106,7 | 3,09 | 2,84 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 10..11 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 98,1 | 2,84 | 2,61 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 58,5 | 3,13 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 55,3 | 2,95 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 108,6 | 3,97 | 3,65 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 11..12 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 132,9 | 3,85 | 3,54 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 100,3 | 4,49 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,3 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 100,7 | 4,51 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,2 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 133,4 | 3,86 | 3,55 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 12..12' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 114,6 | 3,15 | 2,90 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 77,8 | 3,49 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 13'..13 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 27,1 | 1,45 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 49,4 | 1,43 | 1,32 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 13..14 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 57,0 | 1,65 | 1,52 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 32,2 | 1,72 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 36,6 | 1,96 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 62,3 | 2,28 | 2,09 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 14..15 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 77,1 | 2,23 | 2,05 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 58,4 | 2,62 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 54,3 | 2,43 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 73,0 | 2,11 | 1,94 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 15..15' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 53,4 | 1,47 | 1,35 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 35,9 | 1,61 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

TELAIO 7

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm ²] | τ lembo [kg/cm ²] | $\tau_c < \tau_{c,amm}$ | staffe | fs [cm ²] | s [cm] |
|-------------|--------|-----------|---------|---------|----------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|--------|
| trave 1'..1 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 76,8 | 4,10 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 22,2 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 137,3 | 3,97 | 3,65 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 1..2 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 141,6 | 4,10 | 3,77 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 83,6 | 4,47 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,4 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 83,7 | 4,47 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,4 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 133,8 | 4,89 | 4,50 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 18,6 |
| trave 2..3 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 156,8 | 4,54 | 4,17 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,1 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 109,9 | 4,92 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 18,5 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 105,6 | 4,73 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,3 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 142,4 | 4,12 | 3,79 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 3..3' | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 59,5 | 2,67 | 2,45 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 4'..4 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 42,2 | 2,25 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 76,5 | 2,21 | 2,04 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm ²] | τ lembo [kg/cm ²] | $\tau_c < \tau_{c,amm}$ | staffe | fs [cm ²] | s [cm] |
|---------------|-----------|--------------|------------|------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------|--------------------------|--------|
| trave 4..5 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 129,4 | 3,74 | 3,44 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 71,5 | 3,82 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 91,9 | 4,91 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 18,6 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 125,9 | 4,60 | 4,23 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,8 |
| trave 5..6 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 143,7 | 4,16 | 3,83 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 106,8 | 4,78 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,1 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 108,7 | 4,87 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 18,7 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 155,6 | 4,50 | 4,14 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,3 |
| trave 6..6' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 147,8 | 4,06 | 3,74 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 100,3 | 4,49 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,3 |
| trave 7'..7 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 42,2 | 2,25 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 76,5 | 2,21 | 2,04 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 7..8 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 126,9 | 3,67 | 3,38 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 69,0 | 3,69 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 88,4 | 4,72 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,3 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 128,4 | 4,69 | 4,32 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,4 |
| trave 8..9 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 143,6 | 4,16 | 3,82 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 106,8 | 4,78 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,1 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 108,7 | 4,87 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 18,7 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 155,6 | 4,50 | 4,14 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,3 |
| trave 9..9' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 147,8 | 4,06 | 3,74 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 100,4 | 4,50 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 10'..10 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 76,8 | 4,10 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 137,3 | 3,97 | 3,65 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 10..11 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 135,8 | 3,93 | 3,62 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 77,9 | 4,16 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 21,9 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 89,4 | 4,78 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,1 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 129,5 | 4,73 | 4,35 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,3 |
| trave 11..12 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 144,6 | 4,18 | 3,85 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 107,7 | 4,83 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 18,9 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 107,8 | 4,83 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 18,9 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 154,6 | 4,47 | 4,12 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,4 |
| trave 12..12' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 147,8 | 4,06 | 3,74 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 22,4 |
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 100,4 | 4,50 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,3 |
| trave 13'..13 | 40 | 56 | 52 | 2,50 | 50,4 | 2,69 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,50 | 90,9 | 2,63 | 2,42 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 13..14 | 40 | 100 | 96 | 3,43 | 156,9 | 4,54 | 4,18 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,1 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 85,9 | 4,59 | | X | φ6 a 2br | 1,14 | 19,9 |
| | 40 | 56 | 52 | 3,43 | 90,2 | 4,82 | | X | φ6 a 2br | 1,14 | 18,9 |
| | 40 | 80 | 76 | 3,43 | 114,7 | 4,19 | 3,86 | X | φ6 a 2br | 1,14 | 21,8 |
| trave 14..15 | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 145,2 | 4,20 | 3,87 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|-----|-----|------|-------|------|------|---|----------|------|------|
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 101,0 | 4,53 | | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,2 |
| | 40 | 66 | 62 | 3,55 | 97,5 | 4,37 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 3,55 | 131,7 | 3,81 | 3,51 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 15..15' | 40 | 105 | 101 | 2,40 | 115,9 | 3,19 | 2,93 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 66 | 62 | 2,40 | 78,5 | 3,52 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

TELAIO 13

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm²] | τ lembo [kg/cm²] | τc < τc,amm | staffe | fs [cm²] | s [cm] |
|---------------|--------|-----------|---------|---------|----------|------------|------------------|-------------|----------|----------|--------|
| trave 1..2 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 71,8 | 2,08 | 1,91 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 42,5 | 2,27 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 58,0 | 3,10 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 87,3 | 2,53 | 2,32 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 2..3 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 73,2 | 3,91 | 3,60 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 82,3 | 4,40 | 4,04 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,7 |
| trave 3..3' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,5 |
| trave 4..5 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 72,7 | 2,10 | 1,94 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 43,4 | 2,32 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 57,0 | 3,04 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 86,4 | 2,50 | 2,30 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 5..6 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 71,9 | 3,84 | 3,53 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 83,7 | 4,47 | 4,11 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,4 |
| trave 6..6' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,5 |
| trave 7..8 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 73,5 | 2,13 | 1,96 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 44,2 | 2,36 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 56,2 | 3,00 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 85,5 | 2,47 | 2,28 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 8..9 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 71,0 | 3,79 | 3,49 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 84,6 | 4,52 | 4,16 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,2 |
| trave 9..9' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,5 |
| trave 10..11 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 74,1 | 2,14 | 1,97 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 44,8 | 2,39 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 55,7 | 2,98 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 85,0 | 2,46 | 2,26 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 11..12 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 70,4 | 3,76 | 3,46 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 85,2 | 4,55 | 4,19 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,0 |
| trave 12..12' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 2br | 1,14 | 20,5 |
| trave 13..14 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 72,9 | 2,11 | 1,94 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 43,6 | 2,33 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 56,9 | 3,04 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 86,2 | 2,49 | 2,29 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 14..15 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 69,8 | 3,73 | 3,43 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm ²] | τ lembo [kg/cm ²] | $\tau_c < \tau_{c,amm}$ | staffe | fs [cm ²] | s [cm] |
|---------------|--------|-----------|---------|---------|----------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|--------|
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 85,8 | 4,58 | 4,22 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 19,9 |
| trave 15..15' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 2br | 1,14 | 20,5 |
| trave 16..17 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 53,8 | 1,56 | 1,43 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 31,9 | 1,70 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 41,5 | 2,22 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 63,4 | 1,83 | 1,69 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 17..18 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 68,4 | 3,65 | 3,36 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 45,3 | 2,42 | 2,23 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 18..18' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 71,0 | 3,79 | 3,49 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

TELAIO 17

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm ²] | τ lembo [kg/cm ²] | $\tau_c < \tau_{c,amm}$ | staffe | fs [cm ²] | s [cm] |
|---------------|--------|-----------|---------|---------|----------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|--------|
| trave 4'..4 | 40 | 56 | 52 | 0,75 | 73,6 | 3,93 | 3,62 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 4..5 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 72,0 | 2,08 | 1,92 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 42,7 | 2,28 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 57,8 | 3,09 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 87,1 | 2,52 | 2,32 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 5..6 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 73,3 | 3,92 | 3,60 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 82,3 | 4,40 | 4,04 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,7 |
| trave 6..6' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 2br | 1,14 | 20,5 |
| trave 7'..7 | 40 | 56 | 52 | 0,75 | 73,6 | 3,93 | 3,62 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 7..8 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 69,9 | 2,02 | 1,86 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 40,7 | 2,17 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 59,8 | 3,19 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 89,1 | 2,58 | 2,37 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 8..9 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 73,3 | 3,92 | 3,60 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 82,3 | 4,40 | 4,04 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,7 |
| trave 9..9' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 2br | 1,14 | 20,5 |
| trave 10'..10 | 40 | 56 | 52 | 0,75 | 73,6 | 3,93 | 3,62 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 10..11 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 69,4 | 2,01 | 1,85 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 40,1 | 2,14 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 60,3 | 3,22 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 89,7 | 2,60 | 2,39 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 11..12 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 73,3 | 3,92 | 3,60 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 82,3 | 4,40 | 4,04 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,7 |
| trave 12..12' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 2br | 1,14 | 20,5 |
| trave 13'..13 | 40 | 56 | 52 | 0,75 | 73,6 | 3,93 | 3,62 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 13..14 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 67,0 | 1,94 | 1,78 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 37,7 | 2,01 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

Cap. 4 - Progetto simulato

| TRAVE | b [cm] | hTOT [cm] | h' [cm] | l/2 [m] | TEd [KN] | τ [kg/cm ²] | τ lembo [kg/cm ²] | $\tau_c < \tau_{c,amm}$ | staffe | fs [cm ²] | s [cm] |
|---------------|--------|-----------|---------|---------|----------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|--------|
| trave 14..15 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 62,8 | 3,35 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 92,1 | 2,66 | 2,45 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 75,4 | 4,03 | 3,71 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 80,1 | 4,28 | 3,94 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 15..15' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 83,4 | 4,46 | 4,10 | X | φ6 a 4br | 1,14 | 20,5 |
| trave 16'..16 | 40 | 56 | 52 | 0,75 | 71,0 | 3,79 | 3,49 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 16..17 | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 67,8 | 1,96 | 1,80 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 46,0 | 2,46 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 27,4 | 1,46 | | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 100 | 96 | 2,40 | 49,3 | 1,43 | 1,31 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 17..18 | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 46,0 | 2,46 | 2,26 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| | 40 | 56 | 52 | 2,40 | 67,7 | 3,62 | 3,33 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |
| trave 18..18' | 40 | 56 | 52 | 2,15 | 73,8 | 3,94 | 3,63 | ✓ | φ6 a 2br | 0,57 | 20,0 |

Tabella 4.3

TELAIO 1

| pilastro | b [cm] | h [cm] | l [m] | A [cm ²] | Nmax [KN] | Area s.n. [cm ²] | As [mm ²] | As,min [mm ²] | nf | φ [mm] | As,d [mm ²] | s staffe [cm] | σmax | σmax ≤ σc,amm |
|----------|--------|--------|-------|----------------------|-----------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|----|--------|-------------------------|---------------|-------|---------------|
| 0..1 | 50 | 30 | 1,1 | 1500 | 896,5 | 1152,31 | 9,22 | 4,5 | 6 | 16 | 12,06 | 16 | 55,32 | ✓ |
| 1..4 | 50 | 30 | 3,9 | 1500 | 791,4 | 1017,22 | 8,14 | 4,5 | 6 | 16 | 12,06 | 16 | 48,83 | ✓ |
| 0..2 | 60 | 30 | 1,1 | 1800 | 1190,7 | 1530,46 | 12,24 | 5,4 | 8 | 16 | 16,08 | 16 | 60,73 | ✓ |
| 2..5 | 60 | 30 | 3,9 | 1800 | 910,4 | 1170,18 | 9,36 | 5,4 | 6 | 16 | 12,06 | 16 | 47,40 | ✓ |
| 0..3 | 60 | 30 | 1,1 | 1800 | 1146,5 | 1473,65 | 11,79 | 5,4 | 6 | 16 | 12,06 | 16 | 59,69 | ✓ |
| 3..6 | 60 | 30 | 3,9 | 1800 | 957,3 | 1230,46 | 9,84 | 5,4 | 6 | 16 | 12,06 | 16 | 49,84 | ✓ |

TELAIO 7

| pilastro | b [cm] | h [cm] | l [m] | A [cm ²] | Nmax [KN] | Area s.n. [cm ²] | As [mm ²] | As,min [mm ²] | nf | φ [mm] | As,d [mm ²] | s staffe [cm] | σmax | σmax ≤ σc,amm |
|----------|--------|--------|-------|----------------------|-----------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|----|--------|-------------------------|---------------|-------|---------------|
| 0..1 | 50 | 40 | 1,1 | 2000 | 1349,7 | 1734,83 | 13,88 | 6 | 8 | 16 | 16,08 | 14 | 62,46 | ✓ |
| 1..4 | 50 | 40 | 3,9 | 2000 | 1049,1 | 1348,46 | 10,79 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 49,41 | ✓ |
| 0..2 | 60 | 60 | 1,1 | 3600 | 1740,7 | 2237,40 | 17,90 | 10,8 | 10 | 16 | 20,11 | 14 | 45,79 | ✓ |
| 2..5 | 60 | 60 | 3,9 | 3600 | 1410,8 | 1813,37 | 14,51 | 10,8 | 8 | 16 | 16,08 | 14 | 37,51 | ✓ |
| 0..3 | 60 | 60 | 1,1 | 3600 | 1563,4 | 2009,51 | 16,08 | 10,8 | 8 | 16 | 16,08 | 14 | 41,57 | ✓ |
| 3..6 | 60 | 60 | 3,9 | 3600 | 1332,1 | 1712,21 | 13,70 | 10,8 | 8 | 16 | 16,08 | 14 | 35,42 | ✓ |

TELAIO 13

| pilastro | b [cm] | h [cm] | l [m] | A [cm ²] | Nmax [KN] | Area s.n. [cm ²] | As [mm ²] | As,min [mm ²] | nf | φ [mm] | As,d [mm ²] | s staffe [cm] | σmax | σmax ≤ σc,amm |
|----------|--------|--------|-------|----------------------|-----------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|----|--------|-------------------------|---------------|-------|---------------|
| 0..1 | 50 | 40 | 1,1 | 2000 | 623,4 | 801,29 | 6,41 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 29,36 | ✓ |
| 1..4 | 50 | 40 | 3,9 | 2000 | 528,6 | 679,43 | 5,44 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 24,90 | ✓ |
| 0..2 | 50 | 40 | 1,1 | 2000 | 1073 | 1379,18 | 11,03 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 50,54 | ✓ |

| pilastro | b [cm] | h [cm] | l [m] | A [cm ²] | Nmax [KN] | Area s.n. [cm ²] | As [mm ²] | As,min [mm ²] | nf | φ [mm] | As,d [mm ²] | s staffe [cm] | σmax | σmax ≤ σc,amm |
|----------|--------|--------|-------|----------------------|-----------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|----|--------|-------------------------|---------------|-------|---------------|
| 2..5 | 50 | 40 | 3,9 | 2000 | 890 | 1143,96 | 9,15 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 41,92 | ✓ |
| 0..3 | 50 | 40 | 1,1 | 2000 | 1253,4 | 1611,05 | 12,89 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 59,03 | ✓ |
| 3..6 | 50 | 40 | 3,9 | 2000 | 1045,2 | 1343,44 | 10,75 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 49,23 | ✓ |

TELAIO 17

| pilastro | b [cm] | h [cm] | l [m] | A [cm ²] | Nmax [KN] | Area s.n. [cm ²] | As [mm ²] | As,min [mm ²] | nf | φ [mm] | As,d [mm ²] | s staffe [cm] | σmax | σmax ≤ σc,amm |
|----------|--------|--------|-------|----------------------|-----------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|----|--------|-------------------------|---------------|-------|---------------|
| 0..4 | 50 | 40 | 5 | 2000 | 857,2 | 1101,80 | 8,81 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 40,37 | ✓ |
| 0..5 | 50 | 40 | 5 | 2000 | 902,3 | 1159,77 | 9,28 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 42,50 | ✓ |
| 0..6 | 50 | 40 | 5 | 2000 | 1040,5 | 1337,40 | 10,70 | 6 | 8 | 14 | 12,32 | 14 | 49,01 | ✓ |

Tabella 4.4

| TELAIO | pilastro | b [cm] | h [cm] | l[m] | lo [cm] | lo/h ≤ 15 |
|------------------|----------|--------|--------|------|---------|-----------|
| TELAIO1 | 0.1 | 50 | 30 | 1,1 | 77,0 | 2,57 |
| | 1.4 | 50 | 30 | 3,9 | 273,0 | 9,10 |
| | 0.2 | 60 | 30 | 1,1 | 77,0 | 2,57 |
| | 2..5 | 60 | 30 | 3,9 | 273,0 | 9,10 |
| | 0..3 | 60 | 30 | 1,1 | 77,0 | 2,57 |
| | 3..6 | 60 | 30 | 3,9 | 273,0 | 9,10 |
| TEALIO 7 | 0.1 | 50 | 40 | 1,1 | 77,0 | 1,93 |
| | 1.4 | 50 | 40 | 3,9 | 273,0 | 6,83 |
| | 0..2 | 60 | 60 | 1,1 | 77,0 | 1,28 |
| | 2..5 | 60 | 60 | 3,9 | 273,0 | 4,55 |
| | 0..3 | 60 | 60 | 1,1 | 77,0 | 1,28 |
| | 3..6 | 60 | 60 | 3,9 | 273,0 | 4,55 |
| TEALIO 13 | 0.1 | 50 | 40 | 1,1 | 77,0 | 1,93 |
| | 1.4 | 50 | 40 | 3,9 | 273,0 | 6,83 |
| | 0..2 | 50 | 40 | 1,1 | 77,0 | 1,93 |
| | 2..5 | 50 | 40 | 3,9 | 273,0 | 6,83 |
| | 0..3 | 50 | 40 | 1,1 | 77,0 | 1,93 |
| | 3..6 | 50 | 40 | 3,9 | 273,0 | 6,83 |
| TEALIO 17 | 0.4 | 50 | 40 | 5 | 350,0 | 8,75 |
| | 0..5 | 50 | 40 | 5 | 350,0 | 8,75 |
| | 0..6 | 50 | 40 | 5 | 350,0 | 8,75 |

5 – ANALISI SISMICA

L'analisi di vulnerabilità sismica di palazzo Sarpi a Padova, riportata in questo capitolo, è stata compiuta seguendo quanto prescritto dal Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (in seguito indicate con NTC 2008) e dalla relativa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009.

5.1 – DEFINIZIONE DEL LIVELLO DI CONOSCENZA

L'edificio oggetto di studio è stato realizzato negli anni '60, il genio civile non possiede quindi le tavole strutturali. Né è stato possibile recuperarle presso l'archivio comunale o presso l'archivio di stato di Padova, dove dovrebbero trovarsi le tavole degli edifici in cemento armato realizzati in tempi precedenti all'anno 1971. Non è stato inoltre possibile eseguire delle prove in situ. Sono state reperite le tavole architettoniche di tutte le fasi costruttive ed è stata effettuata un'indagine visiva in cui si sono raccolti i dati necessari per il rilievo geometrico e misurate le dimensioni degli elementi strutturali dove possibile. La conoscenza risulta quindi essere limitata, di livello LC1, come da tabella.

| Livello di Conoscenza | Geometria (carpenterie) | Dettagli strutturali | Proprietà dei materiali | Metodi di analisi | FC |
|-----------------------|---|---|---|------------------------------------|------|
| LC1 | Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo | Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ | Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ | Analisi lineare statica o dinamica | 1.35 |
| LC2 | | Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ | Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ | Tutti | 1.20 |
| LC3 | | Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ | Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ | Tutti | 1.00 |

Figura 5.1: Tabella C8A.1.2 da NTC 2008 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile, conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

“LCI: Conoscenza limitata

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare.

Dettagli costruttivi: i dettagli non sono disponibili da disegni costruttivi e sono ricavati sulla base di un progetto simulato eseguito secondo la pratica dell'epoca della costruzione. È richiesta una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire verifiche locali di resistenza.

Proprietà dei materiali: non sono disponibili informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, né da disegni costruttivi né da certificati di prova. Si adottano valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca convalidati da limitate prove in-situ sugli elementi più importanti.

La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza limitata viene in genere eseguita mediante metodi di analisi lineare statici o dinamici”.

Il fattore di confidenza corrispondente al livello di conoscenza scelto è quindi $FC = 1.35$, che verrà utilizzato come fattore riduttivo nella determinazione delle resistenze caratteristiche dei materiali.

5.2 – CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche assegnate ai materiali derivano dall'applicazione dei limiti normativi dell'epoca (R.D. 1939/2229, Circolare n. 1472 del 23 maggio 1957 del Ministero dei Lavori Pubblici, *Armature delle strutture in cemento armato*); dallo studio di saggi riguardanti le caratteristiche dei materiali negli anni '60 (*Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate negli anni '60*¹ e *Resistenza sismica di telai in c.a. progettati con il R.D. 2229/39*²) e dal confronto con casi studio di edifici coevi a Padova in cui le caratteristiche dei materiali sono note (Collegio G.B Morgagni³).

Al capitolo 5.1.2 sono già state spiegate le ragioni per cui si è scelto di attribuire determinati parametri meccanici ai materiali costituenti, in questo capitolo ci si limita quindi a riportare le resistenze caratteristiche attribuite a calcestruzzo e acciaio e partendo da queste alla definizione delle resistenze di progetto secondo NTC.

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

Calcestruzzo C20/25

Resistenza cubica caratteristica $R_{ck} = 25$ MPa

Dalla resistenza cubica caratteristica si ricava la resistenza caratteristica cilindrica a compressione a 28 giorni f_{ck} , come indicato al §11.2.10.1 delle NTC:

$$f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 20,75 \text{ MPa} \quad [5.1]$$

La resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo viene determinata con la formula

¹ G.M. Verderame, A. Stella, E. Cosenza, Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II

² M. Vona e A. Masi, Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata all'ingegneria, Università della Basilicata, Potenza, Italia

³ Tesi di Laurea in Problemi Strutturali dei Monumenti e dell'Edilizia Storica, *Analisi di vulnerabilità sismica finalizzata agli interventi di miglioramento strutturale dell'edificio in cemento armato del collegio G.B. Morgagni*, M. Padovan, Università degli studi di Padova

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{cd}}{\gamma_c} = 11,3 \text{ MPa} \quad [5.2]$$

$$f_{cd,ridotto} = \frac{f_{cd}}{FC} = 8,37 \text{ MPa} \quad [5.3]$$

Dove $\alpha_{cc} = 0,85$ è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata e γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo e vale 1,5.

Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio

Acciaio Fe B 32

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 315 \text{ MPa}$

La resistenza di calcolo dell'acciaio di armatura si ottiene a partire dalla tensione di snervamento come è indicato al §4.1.2.1.1.3 delle NTC e il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 273,9 \text{ MPa} \quad [5.4]$$

$$f_{yd,ridotto} = \frac{f_{yd}}{FC} = 202,8 \text{ MPa} \quad [5.5]$$

Dove γ_s è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio e assume sempre il valore di 1,15 per tutti i tipi di acciaio.

Modulo elastico

Per quanto riguarda il modulo elastico dei materiali si è fatto riferimento al § 7.2.6 delle NTC 2008: *Per rappresentare la rigidità degli elementi strutturali si possono adottare modelli lineari, che trascurano le non linearità di materiale e geometriche, e modelli non lineari, che le considerano; in ambo i casi si deve tener conto della fessurazione dei materiali fragili. In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidità flessionale e a taglio di elementi in muratura, cemento armato, acciaio-calcestruzzo, può essere*

ridotta sino al 50% della rigidezza dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dell'influenza della sollecitazione assiale permanente.” Essendo il calcestruzzo un materiale fragile si è deciso quindi di dimezzarne il modulo elastico in fase di calcolo delle sollecitazioni, attribuendo alle proprietà definite per gli elementi finiti col programma Straus 7, modulo elastico dimezzato rispetto a quello previsto per il calcestruzzo C20/25. Questo comporta una diminuzione dei valori delle sollecitazioni agenti, il suo valore verrà quindi riportato nelle tabelle di verifica ai capitoli 5.8.1. e §5.8.2 anche se non rientra direttamente nel calcolo delle sollecitazioni resistenti.

5.3 – DETERMINAZIONE DEI CARICHI

In accordo con le NTC sono state valutate tre categorie di azioni agenti, classificate secondo la variazione della loro intensità nel tempo (§2.5.1.3):

- **Azioni permanenti (G):** azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo; comprendono: peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G_1), peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2)
- **Azioni variabili (Q):** azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo;
- **Azioni sismiche (E):** azioni derivanti dai terremoti

I carichi permanenti G strutturali e non strutturali sono stati valutati attraverso un'analisi dei carichi a partire dalla geometria della struttura già nel capitolo dedicato al progetto simulato (cap. 5.3). Ci si limita quindi in questo capitolo a riportare i valori finali ottenuti.

5.3.1 - CARICHI PERMANENTI

Elementi strutturali G_1

- | | |
|--|------------------------|
| - Solaio in latero cemento sp. 20+4 cm | 2,9 kN/m ² |
| - Solaio in c.a. sp. 15 cm | 3,75 kN/m ² |

Elementi non strutturali G_2

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| - Pavimento e divisori interni | 1,0 kN/m ² |
| - Scale in c.a. | 7,5 kN/m ² |
| - Pannelli solari | 1,5 kN/m ² |
| - Vani tecnici in copertura | 3,5 kN/m ² |
| - Copertura muretti e tavelloni | 3,2 kN/m ² |
| - Muratura piena pareti di testa | 4,8 kN/m ² |

Tamponamenti esterni

Sono stati raggruppati in sei categorie di cui si è svolta l'analisi dei carichi sempre al cap. 5.3; si riportano i valori finali ottenuti:

- Muratura piena sp. 30 cm: 3,75 kN/m²
- Parete vetrata 0,41 kN/m²
- Parete vetrata con frangisole e muro alveare 1,71 kN/m²
- Parete in muratura e fascia superiore vetrata 2,64 kN/m²
- Parete con fascia inferiore in muratura e sopra vetrata 1,53 kN/m²
- Parete con fascia inferiore in muratura e sopra vetrata e frangisole 1,85 kN/m²

6.3.2 - CARICHI VARIABILI DI ESERCIZIO Q

I carichi variabili di esercizio Q sono invece in parte modificati rispetto all'analisi fatta per il progetto simulato a causa del recente cambiamento di destinazione d'uso del fabbricato. Vengono qui riportati i valori dei carichi variabili considerati in corrispondenza dei solai della struttura, determinati secondo NTC come da tabella riportata relativamente in figura XX e XX.

| Cat. | Ambienti | q _k [kN/m ²] | Q _k [kN] | H _k [kN/m] |
|------|--|--|------------------------|--------------------------|
| B | Uffici. | | | |
| | Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico | 2,00 | 2,00 | 1,00 |
| | Cat. B2 Uffici aperti al pubblico | 3,00 | 2,00 | 1,00 |
| H | Coperture e sottotetti | | | |
| | Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione | 0,50 | 1,20 | 1,00 |
| | Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso | — | — | — |

Figura 5.2: Tabella 3.1.II – NTC 2008, valori dei carichi d'esercizio per le categorie di edifici interessate

Dove q_k è il valore dei carichi verticali uniformemente distribuiti; Q_k il valore dei carichi concentrati e H_k i carichi orizzontali lineari.

In particolare per questa analisi ci interessano i carichi distribuiti q_k che risultano avere i seguenti valori:

- Uffici non aperti al pubblico, cat. B1 2,00 kN/m²
- Copertura accessibile per sola manutenzione, cat H1 0,50 kN/m²
- Copertura praticabile 0,50 kN/m²

CARICO DELLA NEVE

Tra i carichi accidentali rientra anche il carico dovuto all'eventuale neve in copertura, che sarà valutato mediante l'espressione delle NTC:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t \quad [5.6]$$

Dove q_s è il carico neve sulla copertura; μ_i è il coefficiente di forma della copertura, fornito al §3.4.5 delle NTC; q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo espresso in kN/m², fornito al §3.4.2 delle NTC per un periodo di ritorno di 50 anni; C_E è il coefficiente di esposizione di cui al §3.4.3 delle NTC e C_t è il coefficiente termico di cui al §3.4.4 delle NTC. Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Coefficiente di forma μ_i

La struttura in esame presenta due tipologie di copertura differenti nei due corpi est e ovest, il primo presenta copertura a due falde con $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, il secondo presenta copertura piana con pannelli solari distribuiti su tutta la superficie retti da una struttura metallica che determina un'inclinazione di angolo α sempre minore di 30° , per cui si assume per tutto il fabbricato coefficiente di forma μ_i pari a 0,8.

| Coefficiente di forma | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| μ_i | 0,8 | $0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$ | 0,0 |

Figura 5.3: Tabella 3.4.II NTC 2008, valori del coefficiente di forma

Carico di riferimento neve al suolo q_{sk}

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quote inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate al §3.4.2 delle NTC, cui corrispondono i valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. Padova si trova in zona II e la sua altitudine a_s è di 12 m s.l.m., poiché a_s è minore del valore limite di 200 m s.l.m. fissato per la provincia di Padova, il q_{sk} previsto è di 1,00 kN/m².

Coefficiente di esposizione C_E

Il coefficiente di esposizione C_E può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in Tab. 3.4.I. Se non diversamente indicato, si assumerà $C_E = 1$.

| Topografia | Descrizione | C_E |
|-------------------|---|-------|
| Battuta dai venti | Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti. | 0,9 |
| Normale | Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi. | 1,0 |
| Riparata | Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti | 1,1 |

Figura 5.4: Tabella 3.4.I, NTC 2008, valori di C_E per diverse classi di topografia

Coefficiente termico C_t

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t = 1$.

Sostituendo quindi i valori determinati nella [5.6] si ottiene:

$$q_s = 0,8 * 1 * 1 * 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

5.3.3 - AZIONI SISMICHE E

Ai fini delle NTC l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Salvo quando specificato nel § 7.11 della NTC, la componente verticale generalmente viene trascurata.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico su di un punto della superficie è lo spettro di risposta elastico. Le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri:

- la **vita di riferimento** V_R , si ricava moltiplicando la vita nominale della costruzione per il coefficiente d'uso, questo a sua volta individuato a partire dalla classe d'uso: $V_R = V_N * C_u$; La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso specifico si tratta di un'opera ordinaria di normale importanza con $V_N \geq 50$ anni

| TIPI DI COSTRUZIONE | | Vita Nominale V_N (in anni) |
|---------------------|--|----------------------------------|
| 1 | Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹ | ≤ 10 |
| 2 | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale | ≥ 50 |
| 3 | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica | ≥ 100 |

Figura 5.5: Tabella 2.4.I, NTC 2008, vita nominale V_N per diversi tipi di opere

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.⁴

L'edificio oggetto di studio ha funzione pubblica di ufficio comunale ma non ospita funzioni strategiche rilevanti per cui si è deciso di farlo rientrare nella classe d'uso II a cui corrisponde un coefficiente d'uso $C_U = 1,0$

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| COEFFICIENTE C_U | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Figura 5.6: Tab. 2.4.II, NTC 2008, Valori del coefficiente d'uso C_U

La vita di riferimento del fabbricato risulta quindi essere $V_R = 50 * 1,0 = 50$ anni

- la **probabilità di superamento di V_R** : P_{VR} per lo stato limite considerato;

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Per gli edifici esistenti la

⁴ NTC 2008, cap. 2.4.2, Classi d'uso

normativa (NTC §8.3 valutazione della sicurezza) prevede di effettuare la verifica allo stato limite ultimo:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

| Stati Limite | | P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R |
|---------------------------|-----|---|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

Figura 5.7: Tabella 3.2.I, NTC, Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

- **il tempo di ritorno dell'azione sismica: T_r**

Considerando per palazzo Sarpi l'analisi allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) che da normativa prevede una probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R del 10% , il tempo di ritorno risulterà essere:

$$T_r = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = 475 \text{ anni} \quad [5.7]$$

- la collocazione della costruzione sulla mappa di pericolosità sismica che è a sua volta funzione dei parametri indipendenti:

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri del sito vengono ricavati dalle tabelle normative. (Sito: Padova, latitudine 45°24'23'' - longitudine 11°52'40'').

Categoria del sottosuolo

Nel caso in esame, la categoria di sottosuolo del sito non è stata determinata attraverso indagini, ma considerata di tipo C perché tale è la classificazione dei terreni limitrofi. Alla categoria C corrispondono i “depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti”.

| Categoria | Descrizione |
|-----------|---|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine). |
| C | <i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine). |
| D | <i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine). |
| E | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s). |

Figura 5.8: Tabella 3.2.II, NTC 2008 – Categorie di sottosuolo

Categoria topografica

La superficie topografica dove sorge il fabbricato oggetto di studio è pianeggiante, rientra quindi nella categoria T1 come da tabella.

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|---|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ |

Figura 5.9: Tabella 3.2.IV, NTC 2008, Categorie topografiche

Il coefficiente di amplificazione topografica corrispondente da normativa è $S_T = 1,0$.

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
|-----------------------|--|-------|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4 |

Figura 5.10: Tabella 3.2.VI, NTC 2008, Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Fattore di struttura q

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \times K_R \quad (7.3.1 \text{ NTC 2008}) \quad [5.8]$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per quanto riguarda il cemento armato, il valore di q può variare tra 1,5 e 3 per gli elementi strutturali duttili (travi, pilastri e pareti inflesse con o senza sforzo normale), mentre si prende un valore pari a 1,5 per gli elementi strutturali fragili (meccanismi di taglio in travi, pilastri, pareti e nodi). Ai fini delle analisi, si è dovuto considerare un unico valore di q per tutto l'edificio. Pertanto, a favore di sicurezza, è stato scelto di assumere $q = 1,5$.

Per velocizzare l'applicazione della normativa la definizione dello spettro elastico di progetto è stato effettuato con il software "excel – Spettri NTC v. 1.0.2" messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il programma presenta tre fasi compilazione alla fine delle quali restituisce lo spettro di risposta per lo stato limite scelto.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
11,8828

LATITUDINE
45,4161

Ricerca per comune

REGIONE
Veneto

PROVINCIA
Padova

COMUNE
Padova

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta



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, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito

km7,5



INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 5.11: excel – Spettri NTC, fase 1



Figura 5.12: excel – Spettri NTC, fase 2

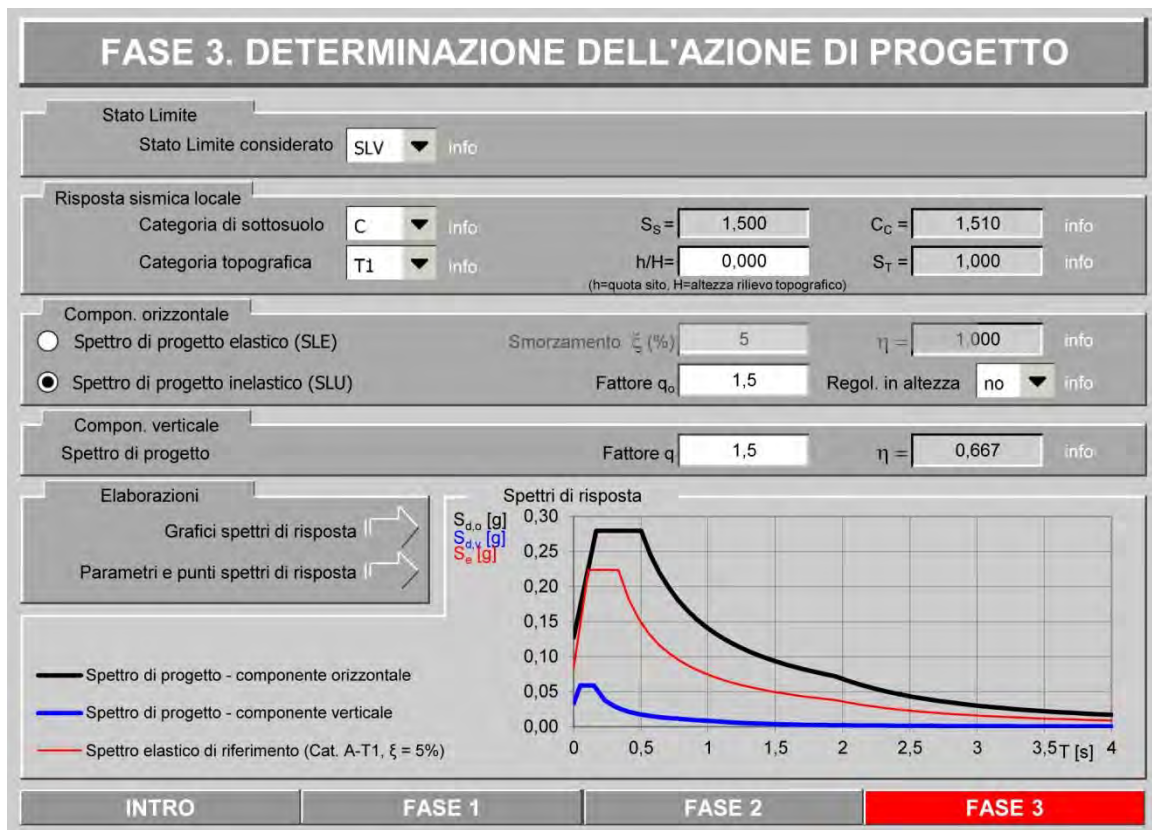


Figura 5.13: excel – Spettri NTC, fase 3

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0,085 g |
| F_o | 2,620 |
| T_C^* | 0,333 s |
| S_S | 1,500 |
| C_C | 1,510 |
| S_T | 1,000 |
| q | 1,200 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1,500 |
| η | 0,833 |
| T_B | 0,167 s |
| T_C | 0,502 s |
| T_D | 1,941 s |

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

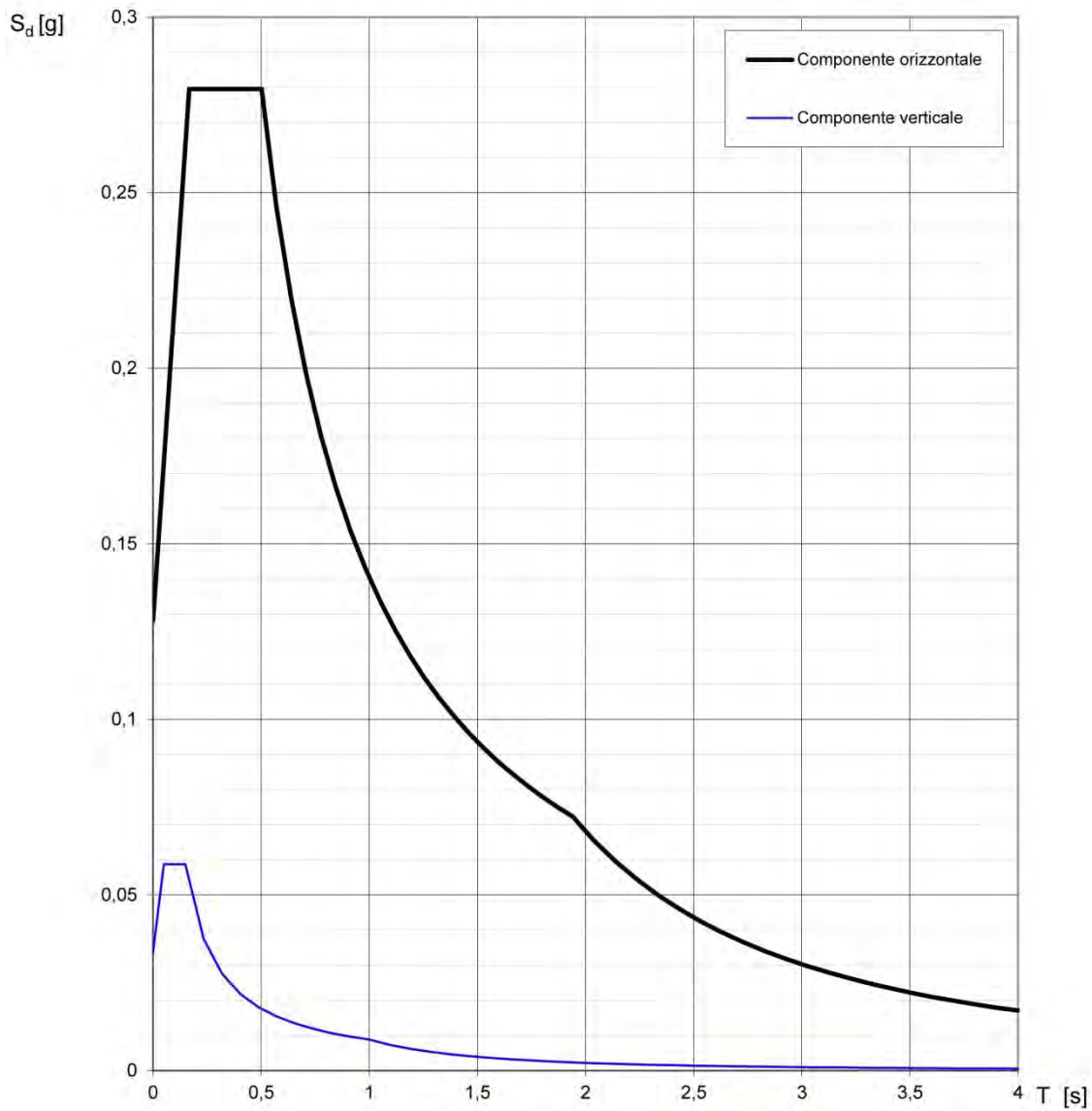
Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
| | 0,000 | 0,128 |
| $T_B \leftarrow$ | 0,167 | 0,279 |
| $T_C \leftarrow$ | 0,502 | 0,279 |
| | 0,571 | 0,246 |
| | 0,639 | 0,220 |
| | 0,708 | 0,198 |
| | 0,776 | 0,181 |
| | 0,845 | 0,166 |
| | 0,914 | 0,154 |
| | 0,982 | 0,143 |
| | 1,051 | 0,134 |
| | 1,119 | 0,125 |
| | 1,188 | 0,118 |
| | 1,256 | 0,112 |
| | 1,325 | 0,106 |
| | 1,393 | 0,101 |
| | 1,462 | 0,096 |
| | 1,530 | 0,092 |
| | 1,599 | 0,088 |
| | 1,667 | 0,084 |
| | 1,736 | 0,081 |
| | 1,804 | 0,078 |
| | 1,873 | 0,075 |
| $T_D \leftarrow$ | 1,941 | 0,072 |
| | 2,039 | 0,066 |
| | 2,137 | 0,060 |
| | 2,235 | 0,055 |
| | 2,333 | 0,050 |
| | 2,432 | 0,046 |
| | 2,530 | 0,043 |
| | 2,628 | 0,039 |
| | 2,726 | 0,037 |
| | 2,824 | 0,034 |
| | 2,922 | 0,032 |
| | 3,020 | 0,030 |
| | 3,118 | 0,028 |
| | 3,216 | 0,026 |
| | 3,314 | 0,025 |
| | 3,412 | 0,023 |
| | 3,510 | 0,022 |
| | 3,608 | 0,021 |
| | 3,706 | 0,020 |
| | 3,804 | 0,019 |
| | 3,902 | 0,018 |
| | 4,000 | 0,017 |

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Figura 5.14: excel – Spettri NTC, parametri e punti dello spettro di risposta

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



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Figura 5.15: excel – Spettri NTC, spettri di risposta

Nella tabella di seguito vengono riportati tutti i parametri dipendenti e indipendenti dello spettro di risposta orizzontale utilizzato per lo svolgimento delle verifiche allo SLU.

| | | |
|---|---------------------|--------|
| STATO LIMITE DI RIFERIMENTO | SLV | |
| Sito della struttura | Padova, via Sarpi 2 | |
| Accelerazione orizzontale massima al sito | a_g | 0,085g |
| Valore massimo del fattore di amplificazione nello spettro di risposta orizzontale | F_o | 2,620 |
| Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale | T_C^* | 0,333 |
| Categoria di sottosuolo | C | |
| Categoria topografica | T_1 | |
| Coefficienti di amplificazione stratigrafica | S_S | 1,500 |
| | C_c | 1,510 |
| Coefficiente di amplificazione topografica | S_T | 1,000 |
| Coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche | S | 1,500 |
| Periodo corrispondente all'inizio dello spettro ad accelerazione costante | T_B | 0,167 |
| Periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro | T_C | 0,502 |
| Periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro | T_D | 1,941 |

5.4 – COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [5.9]$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E è:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [5.10]$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza utilizzati nella combinazione fondamentale sono quelli dell'approccio progettuale A1 per lo *stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione*, riportati in tabella:

| | | Coefficiente γ_F | EQU | A1 STR | A2 GEO |
|---|-------------|----------------------------|-----|-----------|-----------|
| Carichi permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | sfavorevoli | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Carichi variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Figura 5.14 Tabella 2.6.I, NTC 2008, Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Con γ_{G1} è il coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti; γ_{G2} è il coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali e γ_{Qi} è il coefficiente parziale delle azioni variabili.

I coefficienti di combinazione vengono espressi in funzione della categoria di azione variabile cui si riferiscono:

| Categoria/Azione variabile | Ψ_{0j} | Ψ_{1j} | Ψ_{2j} |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Categoria A Ambienti ad uso residenziale | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria B Uffici | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria D Ambienti ad uso commerciale | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria H Coperture | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.) | 0,5 | 0,2 | 0,0 |
| Neve (a quota > 1000 m s.l.m.) | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| Variazioni termiche | 0,6 | 0,5 | 0,0 |

Figura 5.15: Tabella 2.5.I, valori dei coefficienti di combinazione

Dove ψ_{0j} è il coefficiente di combinazione delle azioni variabili utilizzato nella combinazione fondamentale; ψ_{2j} è il coefficiente di combinazione delle azioni variabili utilizzato nella combinazione sismica che nel caso in esame corrisponde a 0,3 in quanto tutto l'edificio rientra nella categoria B Uffici.

5.5 – MODELLAZIONE STRUTTURALE

Il modello della struttura è una schematizzazione computerizzata a elementi finiti realizzata con il programma di calcolo Straus7 ver. 2.3.3, che permette l'analisi e l'estrazione dei risultati. Le unità logico-costruttive impiegate sono 7057 elementi a una dimensione (node), 1473 elementi a 2 dimensioni (beam) e 5749 elementi a 3 dimensioni (plate). La modellazione attraverso questo strumento comincia dalla creazione di nodi, ovvero di punti su cui poi andare a costruire i vari elementi componenti la struttura portante dell'opera; ogni elemento può essere introdotto all'interno del modello e connesso agli altri solo in corrispondenza di tali punti. In particolare gli elementi beam sono stati utilizzati per schematizzare nel calcolo gli elementi strutturali con una dimensione prevalente rispetto alle altre due ovvero pilastri, travi e cordoli mentre gli elementi plate sono stati utilizzati per la schematizzazione dei setti portanti in c.a. Nodi ed elementi sono esempi di "entità", a cui possono essere associati degli attributi come caratteristiche geometriche e proprietà dei materiali.

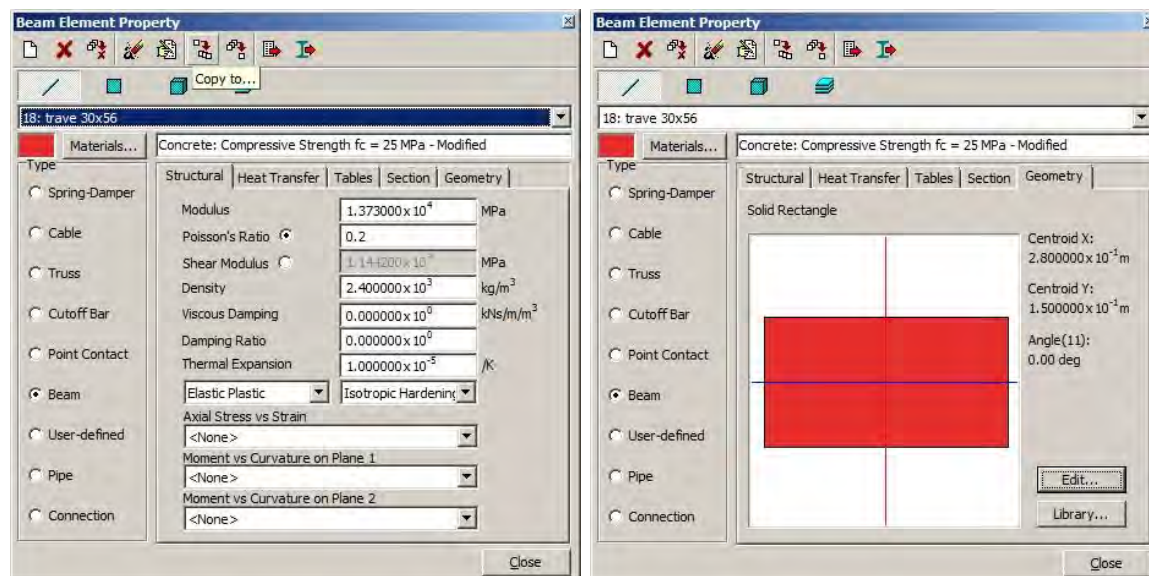


Figure 5.16A e 5.16B: schermate di interfaccia Straus 7 per la creazione degli attributi associati agli elementi beam: caratteristiche dei materiali e sezione geometrica dell'elemento

La geometria dell'edificio viene pertanto riprodotta attraverso elementi finiti ai quali sono attribuite le caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale assegnato.

Per l'edificio oggetto di studio il primo passo è stato tracciare gli assi degli elementi strutturali a partire dalla pianta dell'edificio schematizzata con il programma

di disegno autoCAD, ai fini di individuare i punti di intersezione; questi sono stati riportati tramite un file .dxf all'interno del programma di calcolo in modo da rispettare la geometria reale dell'edificio.

Il modello è stato elaborato sulla base dei rilievi geometrico e strutturale svolti. Le dimensioni dei pilastri sono state dedotte dagli elaborati grafici forniti dall'archivio comunale come anche quelle dei setti portanti e, dove possibile, verificate durante l'indagine in sito. Le dimensioni delle travi sono state misurate in sito dove possibile e riportate uguali per le travi non visibili. Il margine di errore nella valutazione di tali grandezze è, quindi, relazionato all'accuratezza della rappresentazione e a quella della misurazione.

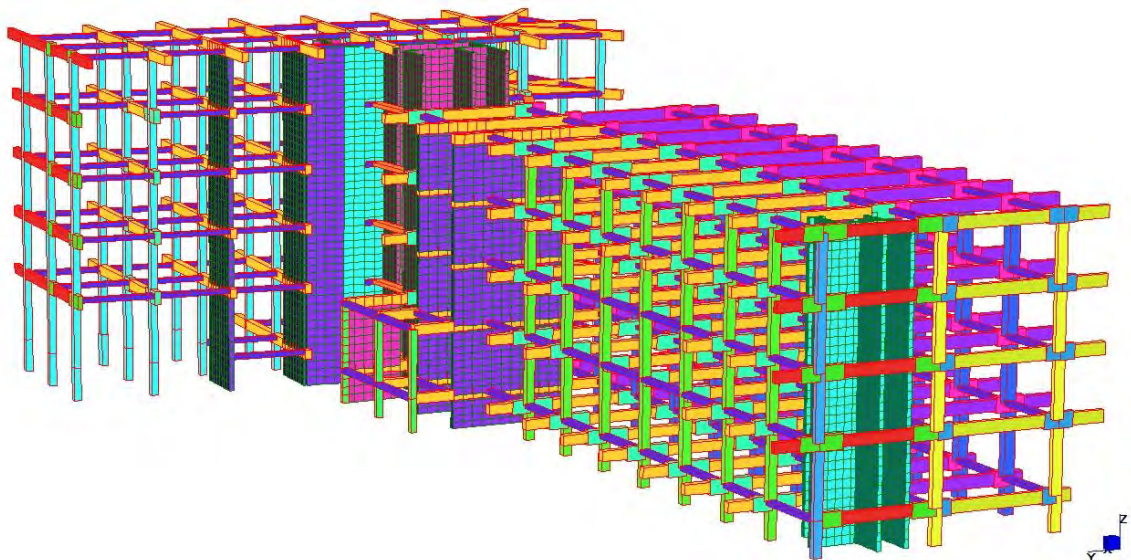


Figure 5.17: Modello a elementi finiti

Gli elementi plate, utilizzati per la schematizzazione dei setti in cemento armato come anche gli elementi beam che sono ad essi collegati, sono stati suddivisi in una mesh che, sulla base dell'accuratezza dei risultati che si intendono ottenere, può essere più o meno fitta.

Nell'elaborare il modello sono state tuttavia adottate alcune semplificazioni in seguito a precise considerazioni circa il metodo di calcolo del programma. Gli orizzontamenti non sono stati rappresentati, il loro peso proprio è stato però computato nei carichi lineari agenti sulle rispettive travi d'ambito. Per riprodurre l'ipotesi di impalcato infinitamente rigido, necessaria alla redistribuzione delle forze negli elementi verticali, sono stati introdotti irrigidimenti interni al piano su cui giace ogni solaio attraverso l'impiego dello

strumento rigid link, applicato a tutti i nodi che sostengono l'orizzontamento stesso. Sono state poi applicate delle masse traslazionali di piano che includono i pesi strutturali e non strutturali dei solai come da combinazione sismica, necessarie per il corretto svolgimento delle analisi modale e spettrale di cui al § 5.6.1. e §5.6.2.

Definita la geometria, sono state fissate opportune condizioni di vincolo per limitare il movimento della struttura nello spazio. A tutti i nodi inferiori degli elementi del piano terra è stata assegnata la condizione di incastro perfetto con l'opzione *Restraint* dal menu *Attributes*, che impedisce tutti e sei i gradi di libertà di tali nodi: non è permessa nessuna traslazione né rotazione. Questa operazione è permessa dall'ipotesi di avere fondazione infinitamente rigida a partire dalla quota del piano campagna.

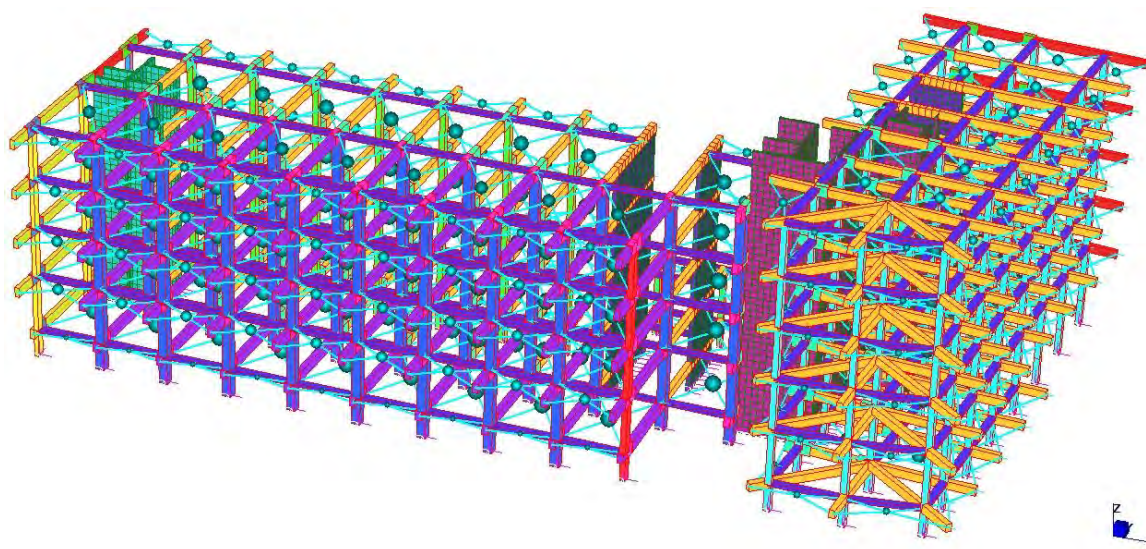


Figure 5.18: Modello a elementi finiti con vincoli a incastro al suolo, rigid link e masse di piano

I carichi, sia permanenti che accidentali, sono stati assegnati sotto forma di forze uniformemente distribuite gravanti sulle travi di ogni solaio. Sono state poi create attraverso la funzione *linear load case combination* le combinazioni di carico necessarie allo svolgimento delle analisi.

Il collegamento tra il corpo ovest e il corpo est, ipotizzato un giunto di 2-3 cm del tutto insufficiente in campo sismico, è stato ottenuto sempre tramite gli elementi *rigid link*, posizionati in modo da collegare i nodi dell'estremità del corpo ovest con quelli più prossimi del corpo est.

Ai fini del calcolo i tratti di trave in prossimità degli appoggi, a sezione variabile, vengono modellati con degli elementi beam a sezione costante di altezza pari all'altezza

media della sezione trapezoidale, per conservare le caratteristiche dell'incastro del nodo previsto dallo schema geometrico originario.

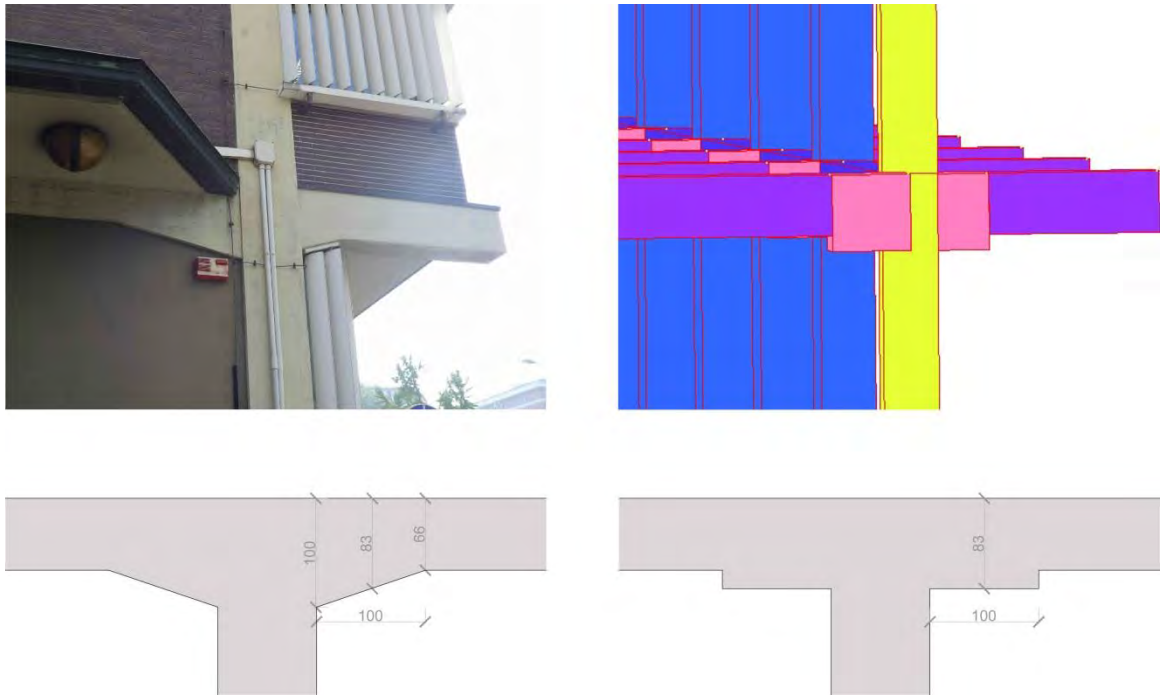


Figura 5.19: Schematizzazione del nodo trave colonna

5.6 – METODOLOGIA DI ANALISI

Per le strutture soggette ad azione sismica la normativa prevede la possibilità di intraprendere diverse tipologie di analisi, in particolare si definiscono analisi statica o dinamica, lineare o non lineare. Grazie alla creazione del modello di calcolo tridimensionale analizzato al § 5.5 è possibile in questo caso effettuare un'analisi dinamica lineare allo Stato Limite Ultimo. Questa prevede di valutare gli effetti dell'azione sismica sulla base dello spettro di progetto e quindi la definizione delle sollecitazioni dovute al sisma. L'analisi lineare viene utilizzata per calcolare gli effetti delle azioni sismiche sia nel caso di sistemi dissipativi sia nel caso di sistemi non dissipativi. Nel caso specifico si è scelto di analizzare la struttura secondo l'analisi modale con fattore di struttura q . Lo spettro di risposta di progetto è ottenuto riducendo le ordinate dello spettro elastico di un fattore q pari a 1,5, (§. 5.3.3.) e viene inserito nel programma di calcolo attraverso l'opzione *factor vs frequency/period* dal menù *tables*.

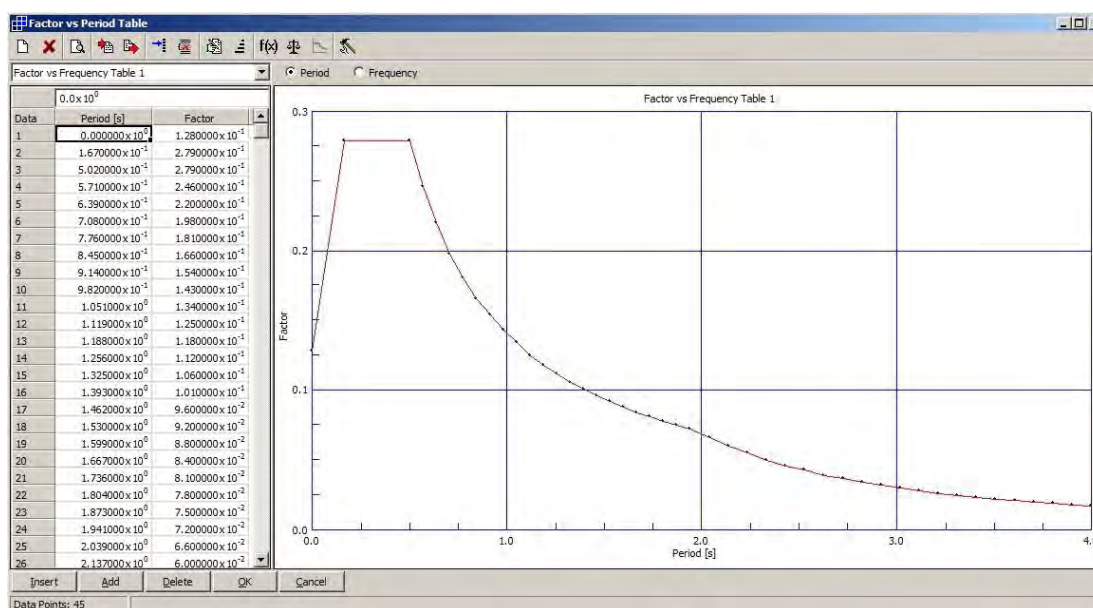


Figura 5.20: Valori e grafico dello spettro di risposta utilizzato inserito nel programma di calcolo

L'analisi lineare dinamica, così come presentata nelle NTC, è condotta secondo tre passaggi fondamentali:

- 1) determinazione dei modi di vibrare “naturali” della costruzione (analisi modale);
- 2) calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- 3) combinazione degli effetti relativi a ciascun modo di vibrare.

5.6.1. ANALISI MODALE

La configurazione deformata di una costruzione e, quindi, anche il suo stato di sollecitazione, si ottiene dalla combinazione delle deformate elementari, ognuna delle quali ha la forma di un modo di vibrare. L'analisi modale risolve le equazioni del moto della costruzione, considerata elastica e in assenza di forzante esterna (oscillazioni libere), e individua le configurazioni deformate che costituiscono i modi naturali di vibrare della struttura. Questi modi di vibrare sono una caratteristica propria della struttura, in quanto sono individuati in assenza di alcuna forzante, e sono caratterizzate da un periodo proprio di oscillazione T , da uno smorzamento convenzionale ξ , caratteristiche proprie degli oscillatori elementari (sistemi dinamici ad un grado di libertà), nonché da una forma. Tranne che per casi particolari, quali quelli per esempio di costruzioni dotate di sistemi di isolamento e di dissipazione, si assume che i modi di vibrare abbiano tutti lo stesso valore dello smorzamento convenzionale ξ , pari al 5%.

Con la *Natural Frequency Analysis* il programma ha calcolato i 60 modi di vibrare richiesti, necessari a raggiungere una percentuale di massa partecipante dell' 85% sia in direzione x sia in direzione y, come indicato da normativa.

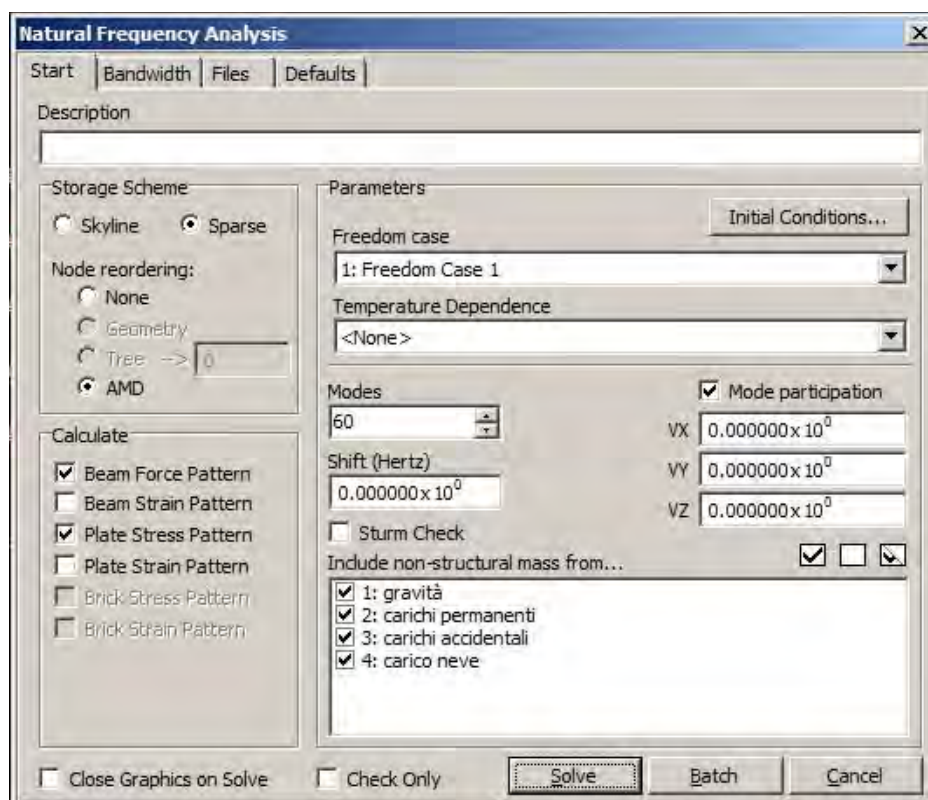


Figura 5.21: Natural frequency analysis

Si riportano i risultati dell'analisi per i 60 modi di vibrare con le percentuali di massa partecipante per ognuno di essi. Di questi sono evidenziati quelli con massa partecipante maggiore. Ciascun modo di vibrare influisce in maniera diversa sulla struttura e, pertanto, saranno presenti alcuni modi più significativi rispetto ad altri.

MODE PARTICIPATION

| Mode | Frequency (Hz) | Modal Mass (Engineering) | PF-X (%) | PF-Y (%) | PF-Z (%) |
|------|-------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 8.192E-01 | 9.084E+05 | 42.355 | 0.387 | 0.000 |
| 2 | 1.272E+00 | 6.851E+05 | 0.035 | 29.791 | 0.000 |
| 3 | 1.285E+00 | 4.814E+05 | 2.269 | 2.417 | 0.000 |
| 4 | 1.970E+00 | 2.946E+05 | 18.271 | 2.522 | 0.002 |
| 5 | 3.112E+00 | 7.548E+04 | 8.097 | 1.163 | 0.001 |
| 6 | 3.122E+00 | 7.015E+02 | 0.163 | 0.177 | 0.027 |
| 7 | 3.130E+00 | 6.508E+04 | 0.325 | 18.756 | 0.000 |
| 8 | 3.623E+00 | 3.993E+04 | 3.968 | 12.507 | 0.001 |
| 9 | 3.741E+00 | 1.922E+04 | 0.092 | 0.643 | 0.000 |
| 10 | 4.002E+00 | 1.137E+04 | 0.144 | 2.879 | 0.001 |
| 11 | 4.102E+00 | 5.781E+05 | 0.856 | 2.376 | 0.001 |
| 12 | 4.524E+00 | 4.016E+05 | 0.023 | 0.642 | 0.000 |
| 13 | 5.638E+00 | 1.724E+04 | 0.777 | 0.335 | 0.000 |
| 14 | 5.674E+00 | 5.141E+02 | 0.000 | 0.002 | 0.024 |
| 15 | 5.906E+00 | 2.643E+04 | 0.890 | 0.742 | 0.000 |
| 16 | 6.002E+00 | 7.832E+03 | 0.181 | 0.322 | 0.001 |
| 17 | 6.197E+00 | 1.380E+03 | 0.000 | 0.000 | 0.055 |
| 18 | 6.448E+00 | 1.407E+06 | 2.292 | 0.158 | 0.000 |
| 19 | 7.210E+00 | 1.472E+04 | 0.025 | 0.110 | 0.000 |
| 20 | 7.402E+00 | 1.382E+05 | 5.101 | 0.429 | 0.011 |
| 21 | 7.467E+00 | 6.683E+05 | 0.455 | 0.797 | 0.000 |
| 22 | 8.636E+00 | 2.888E+05 | 0.027 | 0.244 | 0.001 |
| 23 | 9.202E+00 | 3.157E+03 | 0.025 | 0.001 | 0.000 |
| 24 | 9.536E+00 | 4.688E+03 | 0.000 | 0.009 | 0.000 |
| 25 | 9.862E+00 | 1.069E+04 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| 26 | 1.029E+01 | 9.349E+05 | 0.740 | 0.364 | 0.000 |
| 27 | 1.039E+01 | 7.454E+03 | 0.161 | 0.714 | 0.001 |
| 28 | 1.051E+01 | 3.447E+03 | 0.007 | 0.003 | 0.000 |
| 29 | 1.055E+01 | 1.265E+04 | 0.120 | 0.092 | 0.002 |
| 30 | 1.084E+01 | 5.582E+03 | 0.002 | 0.005 | 0.000 |
| 31 | 1.099E+01 | 1.510E+05 | 0.778 | 0.312 | 0.000 |
| 32 | 1.109E+01 | 7.116E+03 | 0.001 | 0.018 | 0.005 |
| 33 | 1.147E+01 | 5.243E+02 | 0.004 | 0.027 | 0.000 |
| 34 | 1.158E+01 | 5.713E+04 | 0.008 | 5.164 | 0.001 |

| | | | | | |
|----|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| 35 | 1.163E+01 | 3.601E+03 | 0.051 | 0.951 | 0.133 |
| 36 | 1.168E+01 | 2.603E+03 | 0.003 | 0.264 | 0.516 |
| 37 | 1.175E+01 | 4.918E+03 | 0.189 | 1.433 | 0.307 |
| 38 | 1.182E+01 | 2.979E+03 | 0.013 | 0.057 | 0.015 |
| 39 | 1.187E+01 | 3.057E+03 | 0.003 | 0.029 | 0.003 |
| 40 | 1.195E+01 | 2.961E+03 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 41 | 1.199E+01 | 2.770E+03 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| 42 | 1.218E+01 | 1.979E+03 | 0.023 | 0.015 | 0.003 |
| 43 | 1.219E+01 | 7.038E+03 | 0.007 | 0.144 | 0.000 |
| 44 | 1.237E+01 | 1.842E+03 | 0.001 | 0.001 | 0.030 |
| 45 | 1.239E+01 | 1.424E+03 | 0.008 | 0.004 | 0.284 |
| 46 | 1.254E+01 | 2.915E+03 | 0.017 | 0.001 | 0.005 |
| 47 | 1.266E+01 | 1.996E+03 | 0.009 | 0.015 | 0.003 |
| 48 | 1.286E+01 | 6.901E+02 | 0.000 | 0.000 | 0.060 |
| 49 | 1.295E+01 | 2.016E+04 | 0.000 | 0.025 | 0.000 |
| 50 | 1.326E+01 | 1.027E+04 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |
| 51 | 1.340E+01 | 4.863E+03 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| 52 | 1.360E+01 | 2.078E+03 | 0.006 | 0.007 | 1.059 |
| 53 | 1.363E+01 | 3.743E+04 | 0.000 | 0.003 | 4.307 |
| 54 | 1.368E+01 | 1.562E+04 | 0.065 | 0.037 | 0.017 |
| 55 | 1.403E+01 | 5.626E+03 | 0.052 | 0.023 | 0.020 |
| 56 | 1.413E+01 | 1.283E+03 | 0.146 | 0.000 | 0.164 |
| 57 | 1.416E+01 | 1.921E+04 | 0.016 | 0.007 | 0.000 |
| 58 | 1.417E+01 | 5.886E+03 | 0.000 | 0.028 | 0.000 |
| 59 | 1.440E+01 | 1.429E+03 | 0.057 | 0.012 | 0.005 |
| 60 | 1.445E+01 | 1.146E+03 | 0.008 | 0.018 | 0.003 |

 TOTAL MASS PARTICIPATION FACTORS 88.868 87.190 7.069

In tabella vengono riportati i modi di vibrare più significativi, ovvero quelli che raggiungono una percentuale di massa partecipante superiore al 5%. Per ognuno di questi viene poi riportata la relativa configurazione deformata.

| Modo | Frequenza | Massa modale | % in direzione x | % in direzione y |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 1 | 8.192E-01 | 9.084E+05 | 42.355 | 0.387 |
| 2 | 1.272E+00 | 6.851E+05 | 0.035 | 29.791 |
| 4 | 1.970E+00 | 2.946E+05 | 18.271 | 2.522 |
| 5 | 3.112E+00 | 7.548E+04 | 8.097 | 1.163 |
| 7 | 3.130E+00 | 6.508E+04 | 0.325 | 18.756 |
| 8 | 3.623E+00 | 3.993E+04 | 3.968 | 12.507 |

| Modo | Frequenza | Massa modale | % in direzione x | % in direzione y |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 1 | 8.192E-01 | 9.084E+05 | 42.355 | 0.387 |

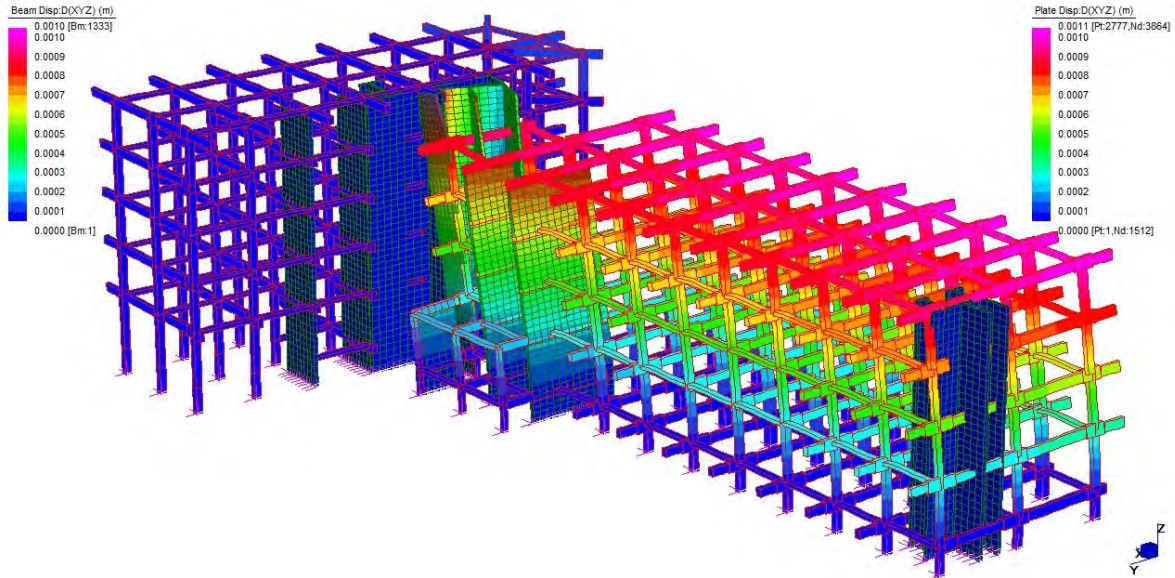


Figura 5.22. configurazione deformata corrispondente al modo di vibrare 1

| Modo | Frequenza | Massa modale | % in direzione x | % in direzione y |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 2 | 1.272E+00 | 6.851E+05 | 0.035 | 29.791 |

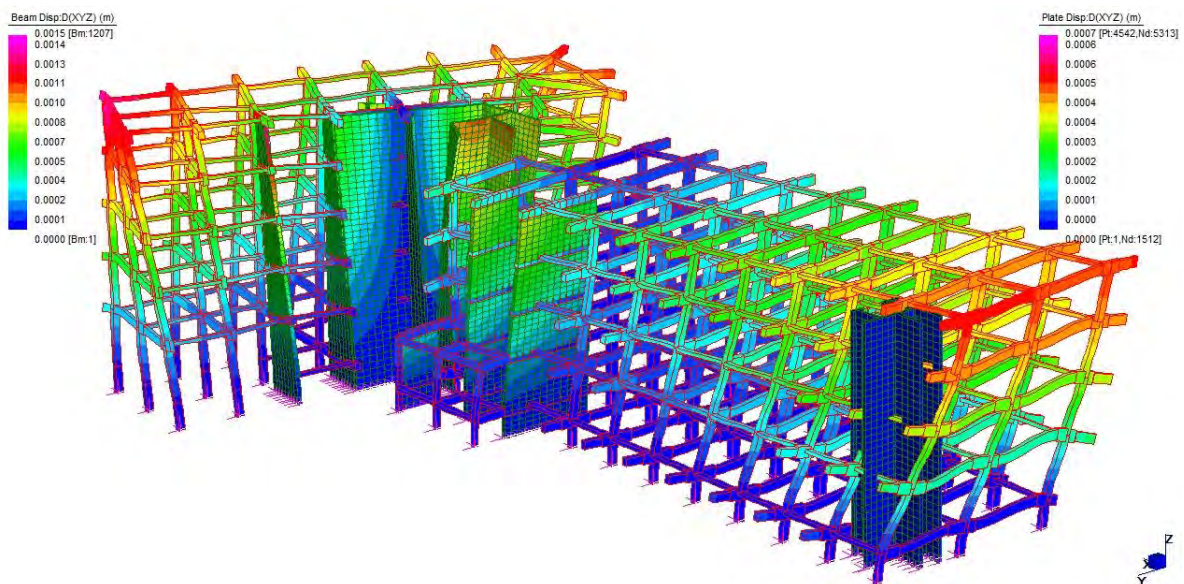


Figura 5.23. configurazione deformata corrispondente al modo di vibrare 2

| Modo | Frequenza | Massa modale | % in direzione x | % in direzione y |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 4 | 1.970E+00 | 2.946E+05 | 18.271 | 2.522 |

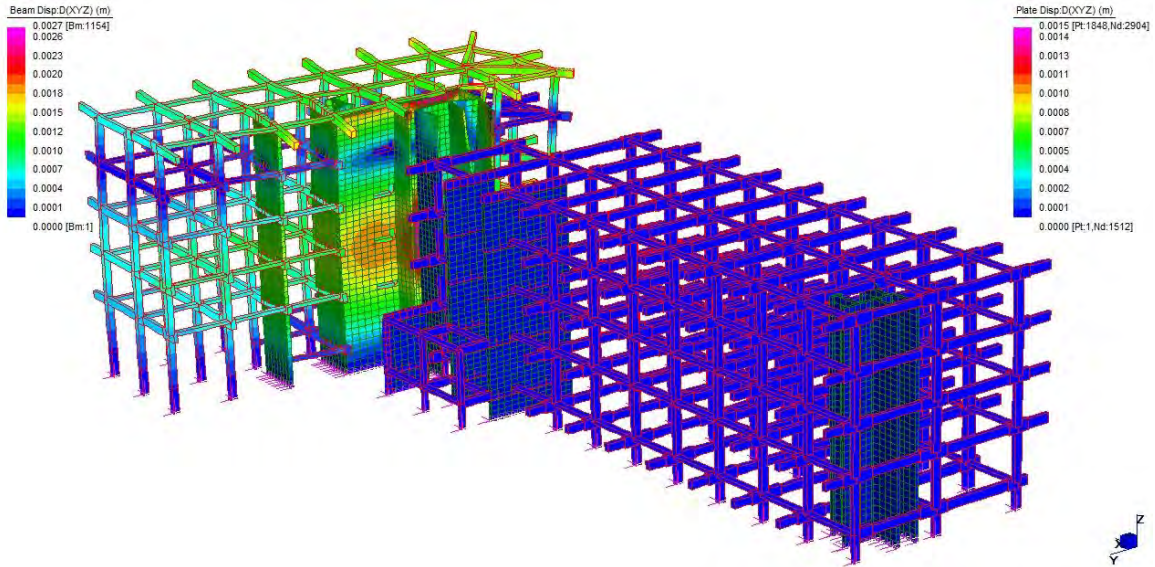


Figura 5.24. configurazione deformata corrispondente al modo di vibrare 4

| Modo | Frequenza | Massa modale | % in direzione x | % in direzione y |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 5 | 3.112E+00 | 7.548E+04 | 8.097 | 1.163 |

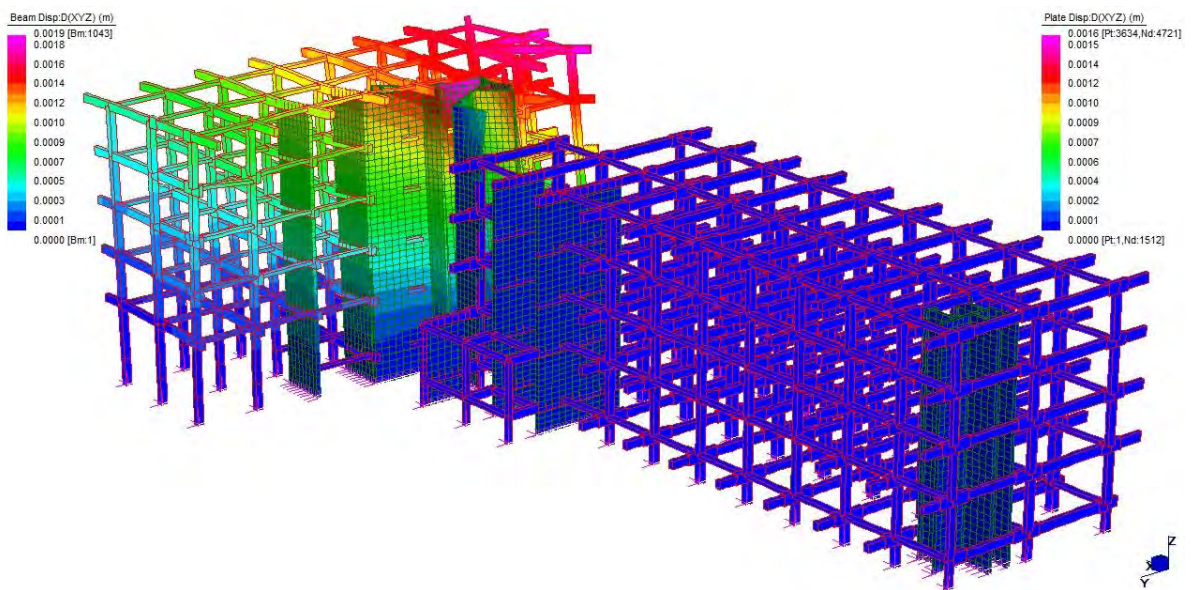


Figura 5.25. configurazione deformata corrispondente al modo di vibrare 5

| Modo | Frequenza | Massa modale | % in direzione x | % in direzione y |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 7 | 3.130E+00 | 6.508E+04 | 0.325 | 18.756 |

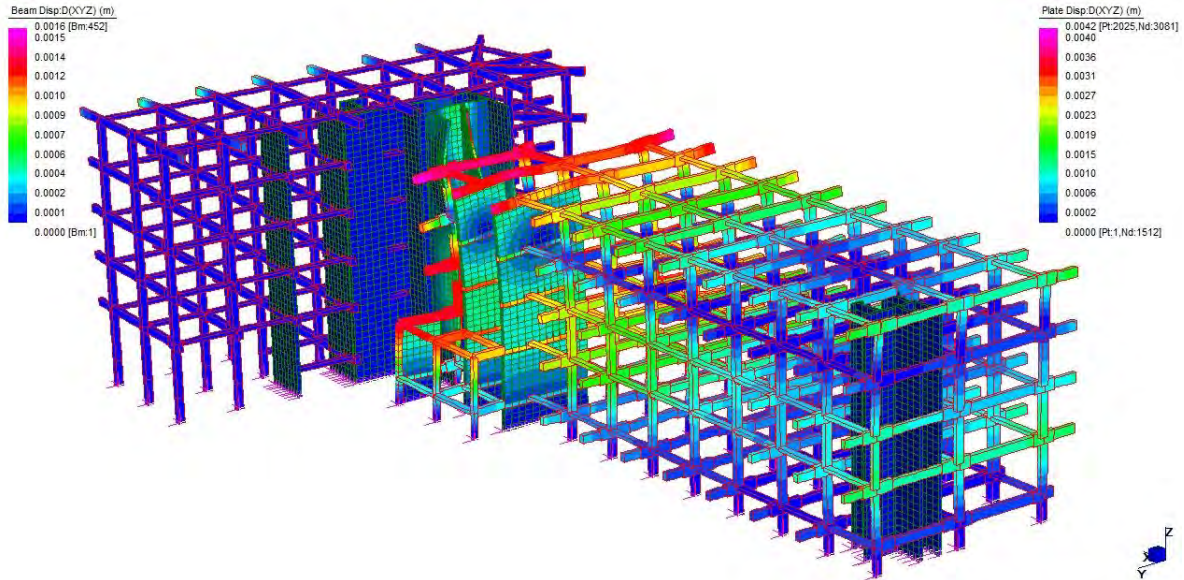


Figura 5.26. configurazione deformata corrispondente al modo di vibrare 7

| Modo | Frequenza | Massa modale | % in direzione x | % in direzione y |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 8 | 3.623E+00 | 3.993E+04 | 3.968 | 12.507 |

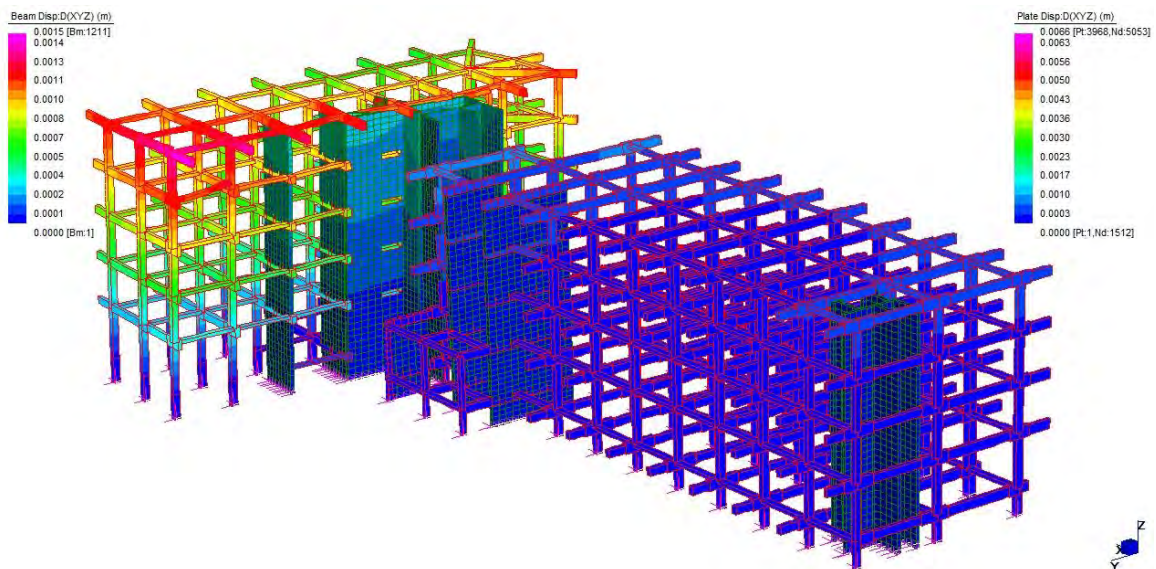


Figura 5.27. configurazione deformata corrispondente al modo di vibrare 8

5.6.2. - ANALISI SPETTRALE

Dopo aver analizzato la risposta della struttura nei singoli modi di vibrare, occorre combinare i risultati per ottenere la massima sollecitazione possibile. Questo problema non è di facile soluzione in quanto nell'istante in cui un modo raggiunge massima ampiezza, un altro può avere ampiezza molto inferiore rispetto al proprio massimo: in generale è molto improbabile che tutti i modi siano in fase, e se lo sono, lo sono comunque per un solo istante. La semplice sovrapposizione dei risultati (cioè la loro somma diretta) si traduce quindi in una sovrastima dei valori in particolare se la massa partecipata è 'distribuita' su un certo numero di modi come avviene per il caso in esame: *tali effetti non possono essere combinati tra loro mediante una semplice somma ma con specifiche regole di combinazione, di natura probabilistica, che tengano conto di questo sfasamento temporale*⁵.

La normativa (NTC 2008) prevede la possibilità di utilizzare una delle seguenti due combinazioni, differenziate in base alla diversa spaziatura delle frequenze dello spettro di risposta.

Se il periodo di vibrazione di ciascun modo differisce di almeno il 10% da quello di tutti gli altri, la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi può essere effettuata valutando la combinazione come radice quadrata della somma dei quadrati (**Square Root of Sum of Squares o SRSS**) degli effetti relativi a ciascun modo, secondo l'espressione:

$$E = (\sum_i E_i^2)^{1/2} \quad [5.11]$$

con: E valore combinato dell'effetto ed E_i valore dell'effetto relativo al modo i .

La possibilità che i massimi contributi modali siano correlati può essere tenuta in conto attraverso la combinazione quadratica completa (**Complete Quadratic Combination o CQC**):

$$E = (\sum_i \sum_j \rho_{ij} E_i^2 E_j^2)^{1/2} \quad [5.12]$$

Con E_j valore dell'effetto relativo al modo j e ρ_{ij} coefficiente di correlazione tra il modo i e il modo j .

⁵ § C7.3.3.1 della Circolare 2 febbraio 2009 , n. 617 *Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*

Nel caso dell'edificio in esame, la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi è stata effettuata secondo la combinazione quadratica completa (CQC), che considera la possibilità che i massimi contributi modali siano correlati.

Con la *Spectral Response Analysis* Straus 7 permette di determinare la risposta della struttura soggetta a un carico dinamico di tipo sismico. Partendo dallo spettro di eccitazione il programma applica uno spostamento equivalente a tutti i punti con gradi di libertà fissati. Questa sollecitazione può agire in ogni arbitraria direzione ed essere definita in termini di accelerazione, velocità o spostamento.

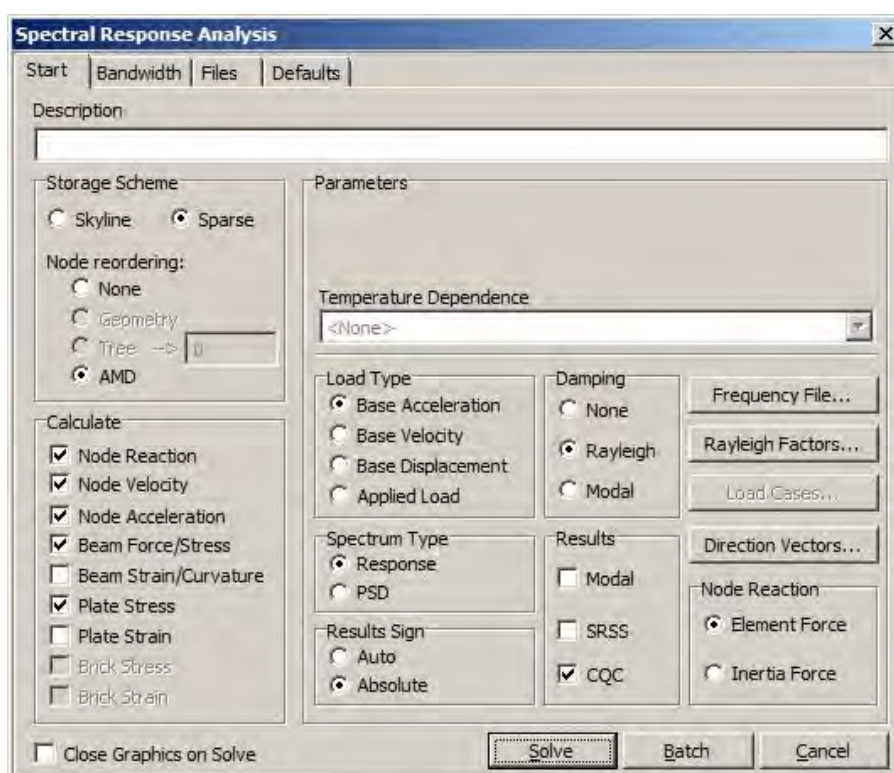


Figura 5.28: Spectral Response Analysis

Nell'analisi lineare dinamica devono essere considerate solo le frequenze dei modi di vibrare che vanno a convergenza per semplificare il calcolo e non aumentare gli errori nell'elaborazione dei risultati; nella finestra *Frequency File* si ha la possibilità di includere i modi di vibrare voluti.

Nella finestra *Direction Vectors* si inseriscono i fattori di carico sismico, ossia la direzione dell'azione sismica da considerare nei vari casi.

5.7. DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI

Dopo la determinazione degli effetti prodotti dal sisma nelle due direzioni considerate, si individuano otto combinazioni di carico sommando ai massimi ottenuti per l'azione sismica applicata in una direzione il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione tenendo quindi conto della loro non contemporaneità. A ciascuna combinazione sono stati poi sommati i valori delle sollecitazioni ottenute per effetto dei carichi verticali secondo la combinazione sismica come al §5.4., questo è consentito dalla linearità del modello adottato.

Queste 8 combinazioni sismiche si aggiungono alla combinazione statica fondamentale ottenuta con gli appropriati coefficienti per i carichi (§5.4) annullando quindi l'azione sismica.

Queste operazioni vengono fatte grazie alla funzione *linear load case combination* di Straus 7.

| CASES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | statica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1: gravità | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ |
| 2: carichi permanenti | 1,300000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ |
| 3: carichi accidentali | 1,500000x10 ⁰ | 3,000000x10 ⁻¹ | 3,000000x10 ⁻¹ | 3,000000x10 ⁻¹ | 3,000000x10 ⁻¹ | 3,000000x10 ⁻¹ | 3,000000x10 ⁻¹ | 3,000000x10 ⁻¹ | 3,000000x10 ⁻¹ |
| 4: carico neve | 1,500000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ | 0,000000x10 ⁰ |
| 5: sisma x [CQC] | 0,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | -1,000000x10 ⁰ | -1,000000x10 ⁰ | 3,000000x10 ⁰ | 3,000000x10 ⁰ | -3,000000x10 ⁰ | -3,000000x10 ⁰ |
| 6: sisma y [CQC] | 0,000000x10 ⁰ | 3,000000x10 ⁰ | -3,000000x10 ⁰ | 3,000000x10 ⁰ | -3,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | -1,000000x10 ⁰ | 1,000000x10 ⁰ | -1,000000x10 ⁰ |

Figura 5.29 : *Linear load case combination*

Infine sono stati calcolati gli involucri massimi dei valori delle sollecitazioni risultanti da tutte le combinazioni tramite la funzione *envelopes* dal menù *Results*.

I parametri della sollecitazione ottenuti sono utilizzabili al fine delle verifiche di sicurezza nei confronti dell'azione sismica. La valutazione della sicurezza è stata eseguita in riferimento ai soli SLU, come previsto nel caso di edifici esistenti (§ 8.3) e le verifiche sono state eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita (SLV).

5.8. VERIFICHE SECONDO NORMATIVA

Le verifiche degli elementi strutturali sono state eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite sulla base delle prescrizioni definite al §4.1.2.1.2 e al § 4.1.2.1.3 delle NTC. La verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi si effettua constatando che la resistenza di progetto R_d superi il valore di progetto dell'effetto delle azioni E_d (formula 2.2.1 delle NTC 2008):

$$R_d \geq E_d \quad [5.13]$$

Sono state determinate le sollecitazioni di progetto sia per la combinazione fondamentale che per quella sismica. Le capacità resistenti sono state valutate, a livello pratico, con differenti metodi a seconda dell'elemento indagato.

VERIFICHE DI RESISTENZA A FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE (§ 4.1.2.1.2 NTC)

Per la valutazione della resistenza ultima delle sezioni di elementi monodimensionali nei confronti di sforzo normale e flessione sono state adottate le seguenti ipotesi:

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;
- deformazione iniziale dell'armatura di precompressione considerata nelle relazioni di congruenza della sezione.

La verifica a flessione si esegue confrontando il massimo momento agente con il momento resistente della sezione e controllando che sia verificata la seguente relazione:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [5.14]$$

Per la determinazione del momento resistente nelle travi si si è fatto riferimento al metodo di verifica a flessione di sezioni con doppia armatura. Si considerano le sezioni in appoggio, sollecitate dal momento massimo negativo, e in mezzeria, sollecitate dal momento massimo positivo.

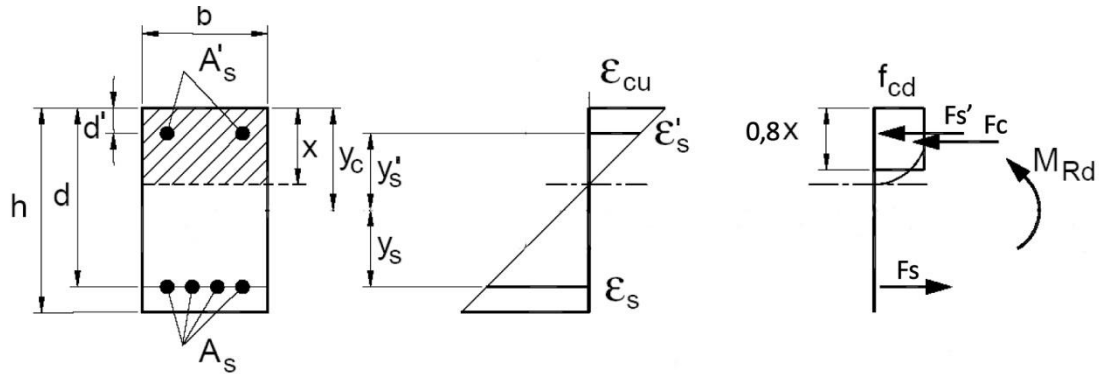


Figura 5.30 : Sezione inflessa

Il procedimento si basa su due equazioni di equilibrio da riferirsi al diagramma della sezione rettangolare con doppia armatura soggetta a sola flessione riportato in figura. La prima equazione descrive l'equilibrio delle forze interne di traslazione

$$F_s = F_c + F_s' \quad [5.15]$$

$$f_{yd} * A_s = f_{cu} * b * 0,8x + f_{yd} * A_s' \quad [5.16]$$

La seconda descrive l'equilibrio alla rotazione della sezione rispetto al baricentro della zona compressa, rispetto al quale il braccio della forza F_s è nullo:

$$M_{Rd} = f_{cd} * (d - 0,4x) + f_s' * (d - c) \quad [5.17]$$

$$M_{Rd} = f_{cu} * b * 0,8x * (d - 0,4x) + f_{yd} * A_s' * (d - c) \quad [5.18]$$

Dalla prima equazione si ricava quindi l'altezza della zona compressa x che sostituita nella seconda fornisce il momento resistente:

$$x = \frac{f_{yd} * (A_s - A_s')}{0,8 f_{cu} * b} \quad [5.19]$$

Nel caso di pressoflessione deviata, la verifica della sezione viene eseguita secondo la 4.1.10 delle NTC 2008:

$$\left(\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^\alpha < 1 \quad [5.19]$$

dove:

- $M_{Ed,x}$, $M_{Ed,y}$ sono i valori di calcolo delle due componenti di flessione retta dell'azione attorno agli assi x e y;
- $M_{Rd,x}$, $M_{Rd,y}$ sono i valori di calcolo dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti a N_{Ed} e valutati separatamente attorno agli assi x e y.

L'esponente α in mancanza di una specifica valutazione, può porsi cautelativamente a 1.

In questo caso i pilastri, soggetti a pressoflessione deviata, sono stati verificati mediante l'adozione dei domini di resistenza M-N calcolati con il software gratuito VcaSlu del Prof. Piero Gelfi. In figura si riporta a titolo esemplificativo la schermata per la verifica a pressoflessione deviata di un pilastro analizzato.

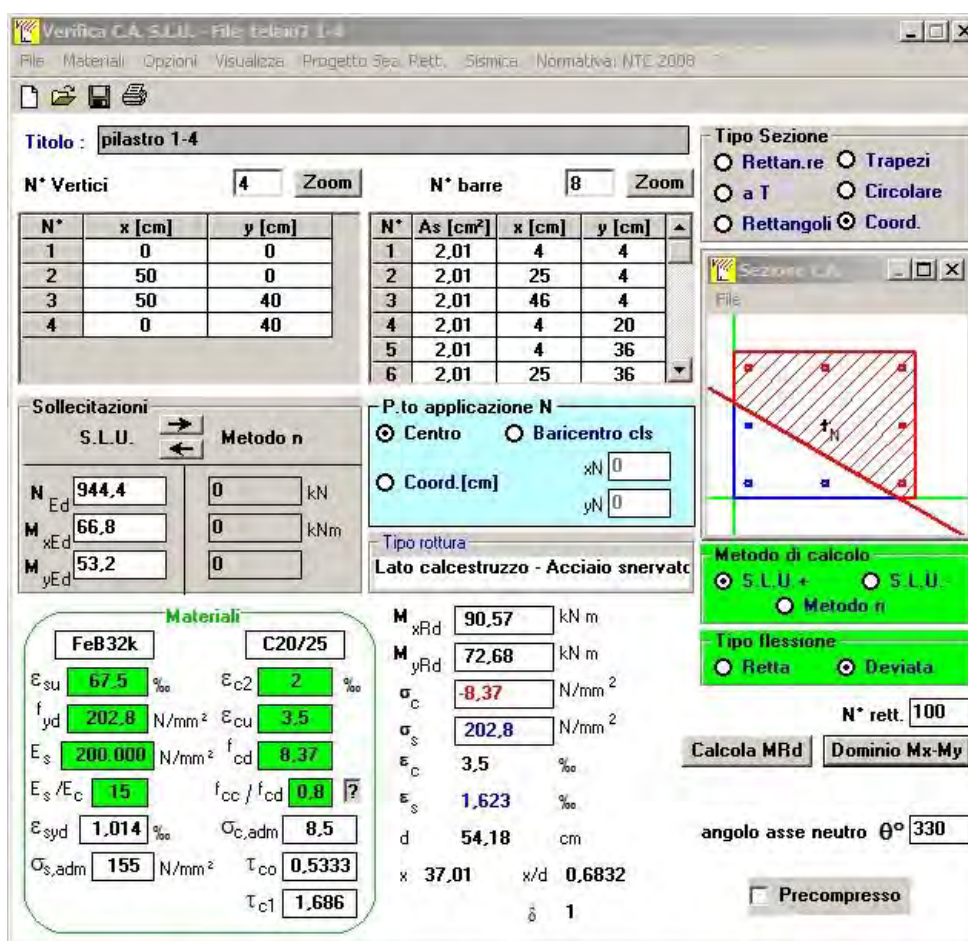


Figura 5.31: Calcolo della pressoflessione per i pilastri, interfaccia del programma VcaSlu del Prof. P. Gelfi

Il programma richiede come dati di input le proprietà dei materiali, la geometria della sezione, la disposizione e la quantità delle barre di armatura, il momento agente in direzione x e in direzione y e lo sforzo normale di compressione. Utilizzando le disposizioni per le verifiche secondo NTC 2008, fornisce l'immagine della sezione pressoinflessa, il valore del momento resistente e l'immagine del dominio di resistenza (figura).

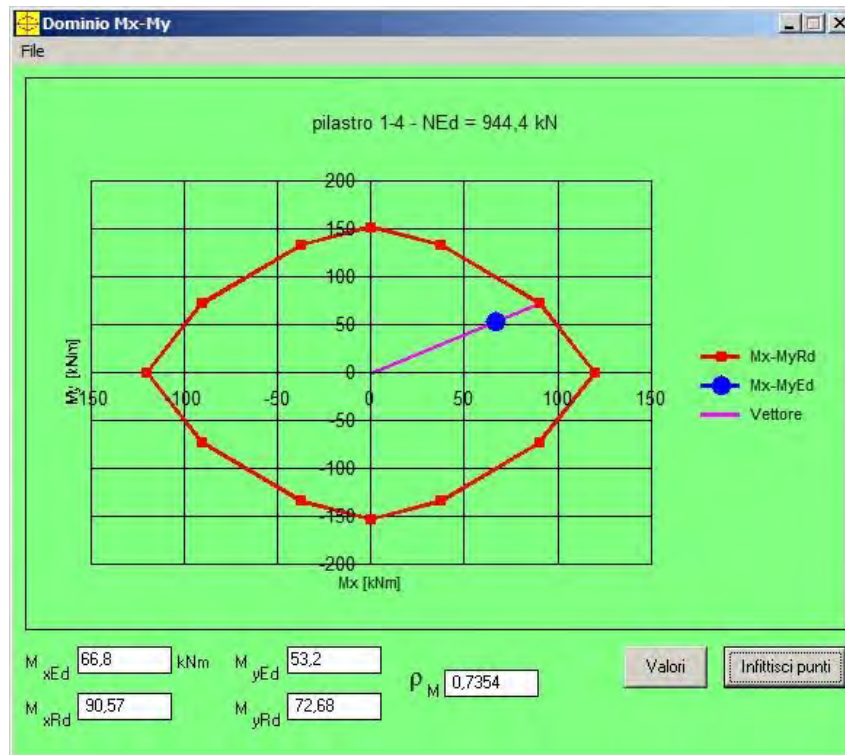


Figura 5.32: Determinazione del dominio resistente per i pilastri, VcaSlu

VERIFICHE DI RESISTENZA ALLE AZIONI TAGLIANTI (§ 4.1.2.1.3)

La resistenza a taglio si valuta come nel caso di nuove costruzioni, per situazioni non sismiche, nel caso di pilastri e travi. La schematizzazione adottata è il traliccio di Ritter - Morsch che considera come elementi resistenti le armature trasversali, le armature longitudinali, i ferri piegati, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati.

L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i seguenti limiti:

$$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2,5 \quad [5.20]$$

Si ipotizza un'inclinazione $\theta = 45^\circ$ pertanto questa condizione risulta verificata.

Ai fini della verifica deve essere verificata la condizione:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad [5.21]$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

La resistenza a taglio è il minimo tra i valori di resistenza di calcolo a “taglio trazione” e a “taglio compressione”:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad [5.22]$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a “taglio trazione” si calcola in questo modo:

$$V_{Rsd} = 0,9d \cdot A_{sw} \cdot s \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [5.23]$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a “taglio compressione” si calcola con la formula:

$$V_{Rcd} = 0,9d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [5.24]$$

dove:

- d è l'altezza utile della sezione in mm;
- b_w è la larghezza minima della sezione in mm;
- A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale;
- s è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;
- α è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave, che si ipotizza essere 90° ;
- f_{cd} è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f_{cd} = 0,5f_{cd}$);
- α_c è un coefficiente maggiorativo pari a 1 per membrature non compresse.

Queste verifiche sono state svolte sia per le combinazioni sismiche, utilizzando la funzioni involuppo massimo di Straus 7, per ottenere i massimi valori delle sollecitazioni tra le 8 combinazioni sismiche considerate, sia per la combinazione fondamentale statica, in modo da poter poi effettuare un confronto nella risposta della struttura ai due tipi diversi di sollecitazione. Si riportano nelle seguenti tabelle un esempio di verifica statica e un esempio di verifica sismica rispettivamente per travi e pilastri

5.8.1. TRAVI

Si riporta in tabella le verifiche eseguite per un concio di trave tipo, a partire dalle proprietà dei materiali e dalle sollecitazioni agenti, facendo uso delle metodologie sopra descritte si eseguono le verifiche a flessione in campata e in entrambi gli appoggi e a taglio. Si è scelto di effettuare la verifica a taglio in tutte le sezioni significative e non solo in quelle in appoggio essendo la geometria della sezione variabile all'interno della stessa campata.

Verifica per sollecitazioni calcolate con la combinazione fondamentale statica

| ELEMENTO | | | |
|------------------------------------|------------------|----------------------|-----------|
| TRAVE 1-2 telaio 1 | appoggio | b [cm] | 30 |
| | | h [cm] | 100 |
| | campata | b [cm] | 30 |
| | | h [cm] | 56 |
| PROPRIETA' DEI MATERIALI | | | |
| ACCIAIO | Fe B 32 k | | |
| Fattore di confidenza | FC | | 1,35 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_s | | 1,15 |
| Modulo elastico | E | [N/mm ²] | 210000,00 |
| Caratteristiche meccaniche | f_{yk} | [MPa] | 315 |
| | f_{yd} | [MPa] | 273,9 |
| | $f_{yd,ridotto}$ | [MPa] | 202,8 |
| CALCESTRUZZO | C 20/25 | | |
| Fattore di confidenza | FC | | 1,35 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_c | | 1,5 |
| Modulo elastico | E | [N/mm ²] | 27460,00 |
| Caratteristiche meccaniche | R_{ck} | [MPa] | 25,00 |
| | f_{ck} | [MPa] | 20,75 |

| | | | |
|---|----------------------|--------------------|-----------------------|
| | f_{cm} | [MPa] | 28,00 |
| | f_{cd} | [MPa] | 11,33 |
| | $f_{ck,ridotto}$ | [MPa] | 8,37 |
| SOLLECITAZIONI AGENTI | | | |
| Sforzo di taglio | V_{Ed} | [kN] | 74,3 |
| Momento flettente in appoggio | M_{Ed}^- | [kN*m] | 127,6 |
| Momento flettente in campata | M_{Ed}^+ | [kN*m] | 63,6 |
| VERIFICA A FLESSIONE in appoggio | | | |
| Spessore copriferro | d | [mm] | 40 |
| Altezza utile | d' | [mm] | 960 |
| Armatura superiore | A_s | [mm ²] | 760 |
| Armatura inferiore | A'_s | [mm ²] | 566 |
| Equilibrio della sezione | | | |
| Asse neutro | x | [mm] | 19,9 |
| Momento flettente di progetto | M_{Rd} | [kN*m] | 145,4 |
| VERIFICA A FLESSIONE | $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ | [kN*m] | Verificato |
| VERIFICA A FLESSIONE in campata | | | |
| Spessore copriferro | d | [mm] | 40 |
| Altezza utile | d' | [mm] | 520 |
| Armatura superiore | A_s | [mm ²] | 566 |
| Armatura inferiore | A'_s | [mm ²] | 760 |
| Equilibrio della sezione | | | |
| Asse neutro | x | [mm] | 19,9 |
| Momento flettente di progetto | M_{Rd} | [kN*m] | 76,5 |
| VERIFICA A FLESSIONE | $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ | [kN*m] | Verificato |
| VERIFICA A TAGLIO | | | |
| Altezza utile armatura | d | [mm] | 960 |
| Larghezza elemento | b | [mm] | 300 |
| Coefficiente maggiorativo | α | | 1 |
| Resistenza a compressione ridotta | $f'_{cd,ridotto}$ | [MPa] | 4,075 |
| Diametro staffe | Φ_s | [mm] | 6 |
| Area resistente a taglio | A_{sw} | [mm ²] | 57 |
| Passo staffe | s | [mm] | 160 |
| VERIFICA A TAGLIO COMPRESSIONE | | | |
| $V_{Rcd} = 0,9d * b_w * \alpha_c * f'_{cd} * (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$ | | [kN] | 542,4 |
| VERIFICA A TAGLIO TRAZIONE | | | |
| $V_{RSd} = 0,9d * (A_{sw}/s) * f_{yd} * (ctg\alpha + ctg\theta) * sen\alpha$ | | [kN] | 59,7 |
| $V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{RSd})$ | | [kN] | 59,7 |
| $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ | | | Non verificato |

Verifica per sollecitazioni calcolate con la combinazione sismica

| ELEMENTO | | | |
|---|----------------------|----------------------|-----------------------|
| TRAVE 1-2 telaio 1 | appoggio | b [cm] | 30 |
| | | h [cm] | 100 |
| | campata | b [cm] | 30 |
| | | h [cm] | 56 |
| PROPRIETA' DEI MATERIALI | | | |
| ACCIAIO | Fe B 32 k | | |
| Fattore di confidenza | FC | | 1,35 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_s | | 1,15 |
| Modulo elastico | E | [N/mm ²] | 210000,00 |
| Caratteristiche meccaniche | f_{yk} | [MPa] | 315 |
| | f_{yd} | [MPa] | 273,9 |
| | $f_{yd,ridotto}$ | [MPa] | 202,8 |
| CALCESTRUZZO | C 20/25 | | |
| Fattore di confidenza | FC | | 1,35 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_c | | 1,5 |
| Modulo elastico | E | [N/mm ²] | 27460,00 |
| Caratteristiche meccaniche | R_{ck} | [MPa] | 25,00 |
| | f_{ck} | [MPa] | 20,75 |
| | f_{cm} | [MPa] | 28,00 |
| | f_{cd} | [MPa] | 11,33 |
| | $f_{ck,ridotto}$ | [MPa] | 8,37 |
| SOLLECITAZIONI AGENTI | | | |
| Sforzo di taglio | V_{Ed} | [kN] | 126,8 |
| Momento flettente in appoggio | M_{Ed}^- | [kN*m] | 256,6 |
| Momento flettente in campata | M_{Ed}^+ | [kN*m] | 113,6 |
| VERIFICA A FLESSIONE in appoggio | | | |
| Spessore copriferro | d | [mm] | 40 |
| Altezza utile | d' | [mm] | 960 |
| Armatura superiore | A_s | [mm ²] | 760 |
| Armatura inferiore | A'_s | [mm ²] | 566 |
| Equilibrio della sezione | | | |
| Asse neutro | x | [mm] | 19,9 |
| Momento flettente di progetto | M_{Rd} | [kN*m] | 145,4 |
| VERIFICA A FLESSSIONE | $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ | [kN*m] | Non verificato |
| VERIFICA A FLESSIONE in campata | | | |
| Spessore copriferro | d | [mm] | 40 |
| Altezza utile | d' | [mm] | 520 |

| | | | |
|---|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Armatura superiore | A_s | [mm ²] | 566 |
| Armatura inferiore | A'_s | [mm ²] | 760 |
| Equilibrio della sezione | | | |
| Asse neutro | x | [mm] | 19,9 |
| Momento flettente di progetto | M_{Rd} | [kN*m] | 76,5 |
| VERIFICA A FLESSSIONE | $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ | [kN*m] | Non verificato |
| VERIFICA A TAGLIO | | | |
| Altezza utile armatura | d | [mm] | 960 |
| Larghezza elemento | b | [mm] | 300 |
| Coefficiente maggiorativo | α | | 1 |
| Resistenza a compressione ridotta | $f'_{cd, ridotto}$ | [MPa] | 4,075 |
| Diametro staffe | Φ_s | [mm] | 6 |
| Area resistente a taglio | A_{sw} | [mm ²] | 57 |
| Passo staffe | s | [mm] | 160 |
| VERIFICA A TAGLIO COMPRESSIONE | | | |
| $V_{Rcd} = 0,9d * b_w * \alpha_c * f'_{cd} * (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$ | | [kN] | 542,4 |
| VERIFICA A TAGLIO TRAZIONE | | | |
| $V_{RSd} = 0,9d * (A_{sw}/s) * f_{yd} * (ctg\alpha + ctg\theta) * sen\alpha$ | | [kN] | 59,7 |
| $V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{RSd})$ | | [kN] | 59,7 |
| $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ | | | Non verificato |

5.8.2. PILASTRI

Si riporta come per le travi anche per i pilastri la verifica tipo. Si tratta del pilastro 1-4 del telaio 7 per cui sono state effettuate le verifiche a pressoflessione e a taglio. In questo caso essendo la sezione e la quantità di armatura costanti per tutta l'altezza del pilastro (si intende da nodo a nodo), la verifica a taglio è stata effettuata per una sola sezione, quella corrispondente al valore assoluto massimo di taglio agente nel pilastro.

Verifica per sollecitazioni calcolate con la combinazione fondamentale statica

| | | |
|---------------------------------|-----------|------|
| ELEMENTO | | |
| PILASTRO 1-4 | b [cm] | 50 |
| | h [cm] | 40 |
| PROPRIETA' DEI MATERIALI | | |
| ACCIAIO | Fe B 32 k | |
| Fattore di confidenza | FC | 1,35 |

| | | | |
|---|------------------|----------------------|-------------------|
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_s | | 1,15 |
| Modulo elastico | E | [N/mm ²] | 210000,00 |
| Caratteristiche meccaniche | f_{yk} | [MPa] | 315 |
| | f_{yd} | [MPa] | 273,9 |
| | $f_{yd,ridotto}$ | [MPa] | 202,8 |
| CALCESTRUZZO | C 20/25 | | |
| Fattore di confidenza | FC | | 1,35 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_c | | 1,5 |
| Modulo elastico | E | [N/mm ²] | 27460,00 |
| Caratteristiche meccaniche | R_{ck} | [MPa] | 25,00 |
| | f_{ck} | [MPa] | 20,75 |
| | f_{cm} | [MPa] | 28,00 |
| | f_{cd} | [MPa] | 11,33 |
| | $f_{ck,ridotto}$ | [MPa] | 8,37 |
| SOLLECITAZIONI AGENTI | | | |
| Sforzo di taglio | V_{Ed} | [kN] | 10,6 |
| Momento flettente in direzione x | $M_{Ed,x}$ | [kN*m] | 24,5 |
| Momento flettente in direzione y | $M_{Ed,y}$ | [kN*m] | 4,6 |
| Sforzo normale | N_{Ed} | [kN] | 1145,5 |
| PRESSOFLESSIONE direzione x | | | |
| Barre di armatura | n° | | 8 |
| | Φ | [mm ²] | 16 |
| | A_s | [cm ²] | 16,08 |
| Momento flettente di progetto | $M_{Rd,x}$ | [kN*m] | 90,6 |
| PRESSOFLESSIONE direzione y | | | |
| Barre di armatura | n° | | 8 |
| | Φ | [mm ²] | 16 |
| | A_s | [cm ²] | 16,08 |
| | $M_{Rd,y}$ | [kN*m] | 72,7 |
| VERIFICA A PRESSOFLESSIONE | | | |
| $(M_{Ed,y}/M_{Rd,y})^\alpha + (M_{Ed,x}/M_{Rd,x})^\alpha < 1$ | | | Verificato |
| VERIFICA A TAGLIO | | | |
| Altezza utile armatura | d | [mm] | 360 |
| Larghezza elemento | b | [mm] | 500 |
| Coefficiente maggiorativo | α | | 1 |
| Resistenza a compressione ridotta | $f_{cd,ridotto}$ | [MPa] | 4,075 |
| Diametro staffe | Φ_s | [mm] | 6 |
| Area resistente a taglio | A_{sw} | [mm ²] | 57 |
| Passo staffe | s | [mm] | 140 |

| | | |
|--|------------------|-------------------|
| VERIFICA A TAGLIO COMPRESSIONE | | |
| $V_{Rcd} = 0,9d * b_w * \alpha_c * f_{cd} * (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$ | [kN] | 339,0 |
| VERIFICA A TAGLIO TRAZIONE | | |
| $V_{RSd} = 0,9d * (A_{sw}/s) * f_{yd} * (ctg\alpha + ctg\theta) * sen\alpha$ | [kN] | 27,2 |
| $V_{Rd} = \min (V_{Rcd}, V_{RSd})$ | [kN] | 27,2 |
| $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ | $10,6 \leq 27,2$ | Verificato |

Verifica per sollecitazioni calcolate con la combinazione sismica

| | | |
|------------------------------------|---------------------------|-----------|
| ELEMENTO | | |
| PILASTRO 1-4 | b [cm] | 50 |
| | h [cm] | 40 |
| PROPRIETA' DEI MATERIALI | | |
| ACCIAIO | Fe B 32 k | |
| Fattore di confidenza | FC | 1,35 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_s | 1,15 |
| Modulo elastico | E [N/mm ²] | 210000,00 |
| Caratteristiche meccaniche | f_{yk} [MPa] | 315 |
| | f_{yd} [MPa] | 273,9 |
| | $f_{yd,ridotto}$ [MPa] | 202,8 |
| CALCESTRUZZO | C 20/25 | |
| Fattore di confidenza | FC | 1,35 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_c | 1,5 |
| Modulo elastico | E [N/mm ²] | 27460,00 |
| Caratteristiche meccaniche | R_{ck} [MPa] | 25,00 |
| | f_{ck} [MPa] | 20,75 |
| | f_{cm} [MPa] | 28,00 |
| | f_{cd} [MPa] | 11,33 |
| | $f_{ck,ridotto}$ [MPa] | 8,37 |
| SOLLECITAZIONI AGENTI | | |
| Sforzo di taglio | V_{Ed} [kN] | 18,9 |
| Momento flettente in direzione x | $M_{Ed,x}$ [kN*m] | 66,8 |
| Momento flettente in direzione y | $M_{Ed,y}$ [kN*m] | 53,2 |
| Sforzo normale | N_{Ed} [kN] | 944,4 |
| PRESSOFLESSIONE direzione x | | |
| Barre di armatura | n° | 8 |
| | Φ [mm ²] | 16 |
| | A_s [cm ²] | 16,08 |

| | | | |
|--|------------------|--------------------|-------------------|
| Momento flettente di progetto | $M_{Rd,x}$ | [kN*m] | 90,6 |
| PRESSOFLESSIONE direzione y | | | |
| Barre di armatura | n° | | 8 |
| | Φ | [mm ²] | 16 |
| | A_s | [cm ²] | 16,08 |
| | $M_{Rd,y}$ | [kN*m] | 72,7 |
| VERIFICA A PRESSOFLESSIONE | | | |
| $(M_{Ed,y}/M_{Rd,y})^\alpha + (M_{Ed,x}/M_{Rd,x})^\alpha < 1$ | | | Verificato |
| VERIFICA A TAGLIO | | | |
| Altezza utile armatura | d | [mm] | 360 |
| Larghezza elemento | b | [mm] | 500 |
| Coefficiente maggiorativo | α | | 1 |
| Resistenza a compressione ridotta | $f_{cd,ridotto}$ | [MPa] | 4,075 |
| Diametro staffe | Φ_s | [mm] | 6 |
| Area resistente a taglio | A_{sw} | [mm ²] | 57 |
| Passo staffe | s | [mm] | 140 |
| VERIFICA A TAGLIO COMPRESSIONE | | | |
| $V_{Rcd} = 0,9d * b_w * \alpha_c * f_{cd} * (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$ | | [kN] | 339,0 |
| VERIFICA A TAGLIO TRAZIONE | | | |
| $V_{RSd} = 0,9d * (A_{sw}/s) * f_{yd} * (ctg\alpha + ctg\theta) * sen\alpha$ | | [kN] | 27,2 |
| $V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{RSd})$ | | [kN] | 27,2 |
| $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ | $18,9 \leq 27,2$ | | Verificato |

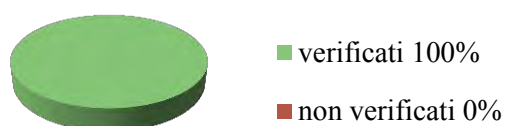
5.9. CONSIDERAZIONI FINALI

Si riporta in questo capitolo una sintesi degli esiti delle verifiche effettuate su pilastri e travi, per la combinazione statica e per la combinazione sismica, sono state calcolate le percentuali di sezioni verificate e non verificate sul totale delle sezioni considerate per ogni tipologia di verifica effettuata. Nel complesso si può concludere che gli elementi resistenti non sono idonei a sopportare la domanda di prestazione imposta da un evento sismico secondo spettro in accelerazione di progetto considerato, in particolare per quanto riguarda i pilastri dei piani inferiori ma anche per quanto riguarda le travi che presentano un sottodimensionamento dell'armatura specifica a taglio.

Verifica a flessione – travi

La verifica a flessione nelle travi per l'analisi statica risulta soddisfatta per la totalità delle sezioni considerate, come ci si aspetta essendo queste state progettate col metodo delle tensioni ammissibili che è più cautelativo rispetto al metodo agli stati limite. Per l'analisi sismica, come è prevedibile, la percentuale di sezioni non verificate cresce di 25 punti percentuale. La struttura non è progettata a resistere all'azione sismica in quanto Padova non rientrava, all'epoca della realizzazione dell'edificio, in zona ritenuta a rischio sismico, e si procedeva quindi a un'analisi che considerava solo i carichi verticali; per questo le strutture portanti orizzontali non presentano armatura longitudinale sufficiente a resistere all'incremento di momento dovuto al sisma.

Analisi statica



Analisi sismica



Si riportano alla fine del capitolo le tabelle 5.1 e 5.2, realizzate con un foglio di calcolo, che presentano le caratteristiche geometriche, i valori delle sollecitazioni e quindi il risultato della verifica a flessione per tutte le sezioni considerate.

Verifica a taglio – travi

Il taglio è la sollecitazione che crea più problemi alla struttura in esame, sia per quanto riguarda l'analisi statica sia per l'analisi sismica, più dell'80% delle sezioni risulta non essere verificato. Questo risultato è dovuto all'armatura trasversale progettata secondo la normativa dell'epoca, risalente al 1939, che prevede che fino al 50% dell'azione tagliante sia assorbita dai ferri piegati. Come si è dimostrato al cap. del progetto simulato infatti l'area della sezione resistente dei ferri longitudinali piegati incide, in questo caso, del 40 % nell'assorbimento della sollecitazione tagliante. Essendo questi non considerati nelle verifiche allo stato limite, che considerano solo le staffe come armatura trasversale, è normale ottenere un risultato di questo tipo. Risultato che viene ulteriormente peggiorato dall'azione sismica essendo questa un'azione tagliante.

Analisi statica



Analisi sismica



Si riportano alla fine del capitolo le tabelle 5.3 e 5.4, realizzate con un foglio di calcolo, che presentano le caratteristiche geometriche, i valori delle sollecitazioni agenti e resistenti e quindi il risultato della verifica a taglio per tutte le sezioni delle travi considerate.

Verifica a pressoflessione - pilastri:

La verifica a pressoflessione nei pilastri risulta interamente soddisfatta in campo statico mentre c'è un alta percentuale di pilastri non verificati nei confronti dell'azione sismica. In particolare si tratta dei pilastri dei piani inferiori: quelli che dalle fondazioni portano al primo orizzontamento risultano nella totalità dei casi non verificati, la percentuale invece sale spostandosi ai piani più alti. Inoltre risulta che il corpo ovest ha una percentuale di pilastri non verificati maggiore rispetto al corpo est, a causa dei maggiori carichi verticali di compressione gravanti che vanno a diminuire il valore dei momenti resistenti in sede di verifica a pressoflessione deviata.

Analisi statica



Analisi sismica



Si riportano alla fine del capitolo le tabelle riassuntive per analisi statica e sismica (tabella 5.5 e 5.6) delle verifiche effettuate.

Verifica a taglio - pilastri:

I pilastri risultano completamente inadatti a resistere a un'azione tagliante di tipo sismico, quasi la metà di questi presenta armatura trasversale specifica insufficiente. Questo è sicuramente dovuto a una progettazione delle armature avvenuta senza considerare l'azione sismica che porta a un confinamento dei nodi solo parziale. Il passo delle staffe veniva infatti considerato costante per tutta la lunghezza degli elementi resistenti e non era consuetudine infittire queste ultime in corrispondenza dei nodi come è invece necessario per avere un'adeguata resistenza all'azione sismica tagliante.

Analisi statica



Analisi sismica



Si riportano alla fine del capitolo le tabelle 5.7 e 5.8, realizzate con un foglio di calcolo, che presentano le caratteristiche geometriche, i valori delle sollecitazioni agenti e resistenti e quindi il risultato della verifica a taglio per i pilastri dei primi due livelli essendo quelli maggiormente sollecitati.

Tabella 5.1

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|---------------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|
| TELAIO 1 | trave 1..2 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 760 | 566 | 19,91 | 145,4 | 127,6 | ✓ |
| | | campata | 300 | 560 | 520 | 760 | 566 | 19,91 | 76,5 | 63,6 | ✓ |
| | trave 2..3 | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1490 | 760 | 74,92 | 222,7 | 213,7 | ✓ |
| | | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1490 | 760 | 74,92 | 284,1 | 269,9 | ✓ |
| | | campata | 300 | 660 | 620 | 1068 | 566 | 51,52 | 129,7 | 103,9 | ✓ |
| | trave 3..3' | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 47,41 | 197,0 | 175,1 | ✓ |
| | | appoggio | 300 | 660 | 620 | 1028 | 566 | 47,41 | 124,9 | 24,5 | ✓ |
| | trave 4'..4 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 177,0 | ✓ |
| | trave 4..5 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 173,3 | ✓ |
| | | campata | 300 | 560 | 520 | 566 | 452 | 11,70 | 56,8 | 43,5 | ✓ |
| | trave 5..6 | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1182 | 566 | 63,22 | 177,3 | 172,9 | ✓ |
| | | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 63,22 | 226,0 | 207,2 | ✓ |
| | | campata | 300 | 660 | 620 | 874 | 452 | 43,31 | 106,5 | 86,6 | ✓ |
| | trave 6..6' | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 63,22 | 226,0 | 225,7 | ✓ |
| | | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 1182 | 452 | 74,92 | 237,9 | 201,3 | ✓ |
| | trave 7'..7 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 177,1 | ✓ |
| | trave 7..8 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 159,5 | ✓ |
| | | campata | 300 | 560 | 520 | 566 | 452 | 11,70 | 56,8 | 46,5 | ✓ |
| | trave 8..9 | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1182 | 566 | 63,22 | 177,3 | 181,2 | ✓ |
| | | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 63,22 | 226,0 | 210,2 | ✓ |
| | | campata | 300 | 660 | 620 | 874 | 452 | 43,31 | 106,5 | 87,7 | ✓ |
| | trave 9..9' | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 63,22 | 226,0 | 227,3 | ✓ |
| | | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 1182 | 452 | 74,92 | 237,9 | 201,3 | ✓ |
| | trave 10'..10 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 177,0 | ✓ |
| trave 10..11 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 173,3 | ✓ | |
| | campata | 300 | 560 | 520 | 566 | 452 | 11,70 | 56,8 | 44,8 | ✓ | |
| trave 11..12 | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1182 | 566 | 63,22 | 177,3 | 170,4 | ✓ | |
| | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 63,22 | 226,0 | 221,2 | ✓ | |
| | campata | 300 | 660 | 620 | 874 | 452 | 43,31 | 106,5 | 88,2 | ✓ | |
| trave 12..12' | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 63,22 | 226,0 | 218,1 | ✓ | |
| | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 1182 | 452 | 74,92 | 237,9 | 201,3 | ✓ | |
| trave 13'..13 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 760 | 452 | 31,61 | 145,9 | 68,5 | ✓ | |
| trave 13..14 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 760 | 452 | 31,61 | 145,9 | 76,9 | ✓ | |
| | campata | 300 | 560 | 520 | 452 | 452 | 0,00 | 44,7 | 25,1 | ✓ | |
| trave 14..15 | appoggio | 300 | 800 | 760 | 987 | 566 | 43,20 | 148,5 | 90,7 | ✓ | |
| | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 987 | 566 | 43,20 | 189,2 | 117,4 | ✓ | |
| | campata | 300 | 660 | 620 | 566 | 566 | 0,00 | 67,7 | 45,0 | ✓ | |
| | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 874 | 566 | 31,61 | 167,5 | 88,8 | ✓ | |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|---------------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|
| TELAIO 1 | trave 15..15' | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 874 | 566 | 31,61 | 176,5 | 78,7 | ✓ |
| TELAIO 7 | trave 1'..1 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 231,7 | ✓ |
| | trave 1..2 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 47,41 | 226,8 | 226,7 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 874 | 566 | 23,71 | 88,4 | 72,1 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1490 | 566 | 71,12 | 223,4 | 219,2 | ✓ |
| | trave 2..3 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1490 | 566 | 71,12 | 284,8 | 279,6 | ✓ |
| | | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 107,3 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1068 | 566 | 38,64 | 205,1 | 199,4 | ✓ |
| | trave 3..3' | appoggio | 400 | 660 | 620 | 1068 | 566 | 38,64 | 130,2 | 26,1 | ✓ |
| | trave 4'..4 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 125,0 | ✓ |
| | trave 4..5 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 190,4 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 874 | 566 | 23,71 | 88,4 | 83,7 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1644 | 566 | 82,97 | 245,5 | 236,7 | ✓ |
| | trave 5..6 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1644 | 566 | 82,97 | 313,3 | 245,4 | ✓ |
| | | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 92,4 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1336 | 566 | 59,27 | 256,0 | 204,8 | ✓ |
| | trave 6..6' | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1336 | 566 | 59,27 | 269,7 | 263,9 | ✓ |
| | trave 7'..7 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 125,0 | ✓ |
| | trave 7..8 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 178,8 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 874 | 566 | 23,71 | 88,4 | 84,6 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1798 | 566 | 94,82 | 267,4 | 258,6 | ✓ |
| trave 8..9 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1798 | 566 | 94,82 | 341,5 | 243,5 | ✓ | |
| | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 94,1 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1336 | 566 | 59,27 | 256,0 | 235,8 | ✓ | |
| trave 9..9' | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1336 | 566 | 59,27 | 269,7 | 263,9 | ✓ | |
| trave 10'..10 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 47,41 | 226,8 | 231,7 | ✓ | |
| trave 10..11 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 47,41 | 226,8 | 228,3 | ✓ | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 720 | 566 | 11,85 | 72,4 | 68,0 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1644 | 566 | 82,97 | 245,5 | 287,2 | ✓ | |
| trave 11..12 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1644 | 566 | 82,97 | 313,3 | 227,3 | ✓ | |
| | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 97,8 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1336 | 566 | 59,27 | 256,0 | 245,4 | ✓ | |
| trave 12..12' | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1336 | 566 | 59,27 | 269,7 | 263,9 | ✓ | |
| trave 13'..13 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 127,8 | ✓ | |
| trave 13..14 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 174,0 | ✓ | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 105,2 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1644 | 566 | 82,97 | 245,5 | 284,4 | ✓ | |
| trave 14..15 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1644 | 566 | 82,97 | 313,3 | 228,7 | ✓ | |
| | campata | 400 | 660 | 620 | 720 | 566 | 11,85 | 87,2 | 65,0 | ✓ | |

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|---------------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|
| TELAIO 7 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 47,41 | 226,8 | 193,2 | ✓ |
| | trave 15..15' | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1182 | 566 | 47,41 | 239,0 | 177,8 | ✓ |
| TELAIO 13 | trave 1..2 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 70,4 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 40,1 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 95,7 | ✓ |
| | trave 2..3 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 77,9 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 33,2 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 100,5 | ✓ |
| | trave 3..3' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ |
| | | | | | | | | | | | |
| | trave 4..5 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 72,4 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 43,3 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 86,8 | ✓ |
| | trave 5..6 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 75,2 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 33,4 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 103,0 | ✓ |
| | trave 6..6' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ |
| | | | | | | | | | | | |
| | trave 7..8 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 76,8 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 44,2 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 86,8 | ✓ |
| | trave 8..9 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 75,2 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 33,4 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 103,1 | ✓ |
| | trave 9..9' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ |
| | | | | | | | | | | | |
| trave 10..11 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 82,6 | ✓ | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 44,3 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 76,7 | ✓ | |
| trave 11..12 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 69,8 | ✓ | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 35,2 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 105,1 | ✓ | |
| trave 12..12' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ | |
| | | | | | | | | | | | |
| trave 13..14 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 81,4 | ✓ | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 45,2 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 74,0 | ✓ | |
| trave 14..15 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 69,0 | ✓ | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 36,1 | ✓ | |
| | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 104,2 | ✓ | |
| trave 15..15' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ | |
| | | | | | | | | | | | |
| trave 16..17 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 40,2 | ✓ | |
| | | | | | | | | | | | |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|-----------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|
| TELAIO 13 | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 34,7 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 32,6 | ✓ |
| | trave 17..18 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 28,5 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 16,8 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 83,8 | ✓ |
| | trave 18..18' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 109,8 | ✓ |
| TELAIO 17 | trave 4'..4 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ |
| | trave 4..5 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 63,4 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 40,8 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 102,4 | ✓ |
| | trave 5..6 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 74,9 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 29,2 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 107,8 | ✓ |
| | trave 6..6' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ |
| | trave 7'..7 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ |
| | trave 7..8 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 63,8 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 37,8 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 108,5 | ✓ |
| | trave 8..9 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 74,0 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 32,1 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 102,7 | ✓ |
| | trave 9..9' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ |
| | trave 10'..10 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ |
| | trave 10..11 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 61,3 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 38,0 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 110,9 | ✓ |
| | trave 11..12 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 77,4 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 31,6 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 104,2 | ✓ |
| | trave 12..12' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ |
| TELAIO 17 | trave 13'..13 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ |
| | trave 13..14 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 51,2 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 39,8 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 62,3 | ✓ |
| | trave 14..15 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 85,3 | ✓ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 29,5 | ✓ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 100,1 | ✓ |
| | trave 15..15' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 140,5 | ✓ |
| | trave 16'..16 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 109,8 | ✓ |

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|--------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|
| | trave 16..17 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 90,3 | √ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 7,6 | √ |
| | trave 17..18 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 40,8 | √ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 29,7 | √ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 16,9 | √ |
| | trave 18..18' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 81,9 | √ |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 109,8 | √ |

Tabella 5.2

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|---------------|-------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|
| TELAIO 1 | trave 1..2 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 760 | 566 | 19,91 | 145,4 | 256,4 | X (43%) |
| | | campata | 300 | 560 | 520 | 760 | 566 | 19,91 | 76,5 | 113,6 | X (33%) |
| | | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1326 | 760 | 58,08 | 198,8 | 308,0 | X (35%) |
| | trave 2..3 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1326 | 760 | 58,08 | 253,4 | 378,8 | X (33%) |
| | | campata | 300 | 660 | 620 | 1068 | 566 | 51,52 | 129,7 | 146,2 | X (11%) |
| | | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 760 | 566 | 19,91 | 145,4 | 338,6 | X (57%) |
| | trave 3..3' | appoggio | 300 | 660 | 620 | 874 | 566 | 31,61 | 106,2 | 24,5 | √ |
| | trave 4'..4 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 606 | 452 | 15,80 | 116,0 | 177,0 | X (34%) |
| | trave 4..5 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 355,0 | X (51%) |
| | | campata | 300 | 560 | 520 | 566 | 452 | 11,70 | 56,8 | 130,5 | X (56%) |
| | | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1068 | 566 | 51,52 | 160,5 | 318,4 | X (50%) |
| | trave 5..6 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1068 | 566 | 51,52 | 204,6 | 416,2 | X (51%) |
| | | campata | 300 | 660 | 620 | 874 | 452 | 43,31 | 106,5 | 180,0 | X (41%) |
| | | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1068 | 566 | 51,52 | 204,6 | 467,8 | X (56%) |
| | trave 6..6' | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 1068 | 452 | 63,22 | 215,4 | 201,3 | √ |
| | trave 7'..7 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 177,1 | √ |
| | trave 7..8 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 314,6 | X (45%) |
| | | campata | 300 | 560 | 520 | 566 | 452 | 11,70 | 56,8 | 166,6 | X (66%) |
| | | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1068 | 566 | 51,52 | 160,5 | 318,4 | X (50%) |
| | trave 8..9 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1068 | 566 | 51,52 | 204,6 | 384,3 | X (47%) |
| campata | | 300 | 660 | 620 | 874 | 452 | 43,31 | 106,5 | 152,3 | X (30%) | |
| appoggio | | 300 | 1000 | 960 | 1068 | 566 | 51,52 | 204,6 | 416,0 | X (51%) | |
| trave 9..9' | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 1068 | 452 | 63,22 | 215,4 | 201,3 | √ | |
| trave 10'..10 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 177,0 | √ | |
| trave 10..11 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 910 | 452 | 47,00 | 174,6 | 256,6 | X (32%) | |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|---------------|---------------|-------------|----------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|
| TELAIO 1 | | campata | 300 | 560 | 520 | 566 | 452 | 11,70 | 56,8 | 69,2 | X (18%) |
| | | appoggio | 300 | 800 | 760 | 1068 | 566 | 51,52 | 160,5 | 245,6 | X (35%) |
| | trave 11..12 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1068 | 566 | 51,52 | 204,6 | 310,5 | X (34%) |
| | | campata | 300 | 660 | 620 | 874 | 452 | 43,31 | 106,5 | 105,3 | √ |
| | | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 1068 | 566 | 51,52 | 204,6 | 324,8 | X (37%) |
| | trave 12..12' | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 1068 | 452 | 63,22 | 215,4 | 201,3 | √ |
| | trave 13'..13 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 760 | 452 | 31,61 | 145,9 | 68,5 | √ |
| | trave 13..14 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 760 | 452 | 31,61 | 145,9 | 128,6 | √ |
| | | campata | 300 | 560 | 520 | 452 | 452 | 0,00 | 44,7 | 37,2 | √ |
| | | appoggio | 300 | 800 | 760 | 987 | 566 | 43,20 | 148,5 | 139,0 | √ |
| | trave 14..15 | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 987 | 566 | 43,20 | 189,2 | 171,0 | √ |
| | | campata | 300 | 660 | 620 | 566 | 566 | 0,00 | 67,7 | 60,0 | √ |
| | | appoggio | 300 | 1000 | 960 | 874 | 566 | 31,61 | 167,5 | 158,9 | √ |
| | trave 15..15' | appoggio | 300 | 1050 | 1010 | 874 | 566 | 31,61 | 176,5 | 78,7 | √ |
| | TELAIO 7 | trave 1'..1 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 231,7 |
| trave 1..2 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 246,7 | X (20%) |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 874 | 566 | 23,71 | 88,4 | 72,1 | √ |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1490 | 566 | 71,12 | 223,4 | 259,2 | X (14%) |
| trave 2..3 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1490 | 566 | 71,12 | 284,8 | 279,6 | √ |
| | | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 107,3 | √ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 219,4 | X (10%) |
| trave 3..3' | | appoggio | 400 | 660 | 620 | 1028 | 566 | 35,56 | 125,4 | 26,1 | √ |
| trave 4'..4 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 125,0 | √ |
| trave 4..5 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 209,5 | X (6%) |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 874 | 566 | 23,71 | 88,4 | 83,7 | √ |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1644 | 566 | 82,97 | 245,5 | 296,7 | X (17%) |
| trave 5..6 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1644 | 566 | 82,97 | 313,3 | 268,3 | √ |
| | | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 92,4 | √ |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1336 | 566 | 59,27 | 256,0 | 204,8 | √ |
| trave 6..6' | | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1336 | 566 | 59,27 | 269,7 | 263,9 | √ |
| trave 7'..7 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 125,0 | √ |
| trave 7..8 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 187,9 | √ |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 874 | 566 | 23,71 | 88,4 | 84,6 | √ |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1798 | 566 | 94,82 | 267,4 | 308,6 | X (13%) |
| trave 8..9 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1798 | 566 | 94,82 | 341,5 | 248,5 | √ | |
| | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 94,1 | √ | |
| | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1336 | 566 | 59,27 | 256,0 | 279,2 | X (8%) | |
| trave 9..9' | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1336 | 566 | 59,27 | 269,7 | 263,9 | √ | |
| trave 10'..10 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 47,41 | 226,8 | 231,7 | √ | |

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd | |
|--------------|---------------|------------|----------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|---|
| TELAIO 7 | trave 10..11 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1182 | 566 | 47,41 | 226,8 | 228,2 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 720 | 566 | 11,85 | 72,4 | 68,0 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1644 | 566 | 82,97 | 245,5 | 287,2 | X (15%) | |
| | trave 11..12 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1644 | 566 | 82,97 | 313,3 | 227,3 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 660 | 620 | 874 | 566 | 23,71 | 106,4 | 97,8 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1336 | 566 | 59,27 | 256,0 | 285,5 | X (10%) | |
| | trave 12..12' | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1336 | 566 | 59,27 | 269,7 | 263,9 | ✓ | |
| | trave 13'..13 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 127,8 | ✓ | |
| | trave 13..14 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 176,6 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 874 | 566 | 23,71 | 88,4 | 105,4 | X (16%) | |
| | | appoggio | 400 | 800 | 760 | 1336 | 566 | 59,27 | 200,9 | 324,4 | X (38%) | |
| | trave 14..15 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1336 | 566 | 59,27 | 256,0 | 235,4 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 660 | 620 | 720 | 566 | 11,85 | 87,2 | 65,0 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 207,8 | X (5%) | |
| | trave 15..15' | appoggio | 400 | 1050 | 1010 | 1028 | 566 | 35,56 | 208,0 | 177,8 | ✓ | |
| | TELAIO13 | trave 1..2 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 91,2 | ✓ |
| | | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 40,1 | ✓ |
| | | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 109,1 | ✓ |
| trave 2..3 | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 77,9 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 33,1 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 103,0 | ✓ | |
| trave 3..3' | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,1 | X (7%) | |
| trave 4..5 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 126,2 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 51,1 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 136,5 | ✓ | |
| trave 5..6 | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 88,3 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 34,8 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 126,8 | ✓ | |
| trave 6..6' | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,1 | X (7%) | |
| trave 7..8 | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 159,6 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 69,8 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 162,3 | ✓ | |
| trave 8..9 | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 97,2 | ✓ | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 42,3 | ✓ | | |
| | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 142,3 | ✓ | | |
| trave 9..9' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,1 | X (7%) | | |
| trave 10..11 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 181,4 | ✓ | | |
| | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 80,4 | X (30%) | | |
| | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 172,4 | ✓ | | |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd | |
|---------------|---------------|-------------|--------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|--------|------------|------------|-----------|---|
| TELAIO13 | trave 11..12 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 97,5 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 44,7 | ✓ | |
| | trave 12..12' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 148,4 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,1 | X (7%) | |
| | trave 13..14 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 189,1 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 85,9 | X (35%) | |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 178,9 | ✓ | |
| | trave 14..15 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 96,7 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 46,7 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 147,9 | X (9%) | |
| | trave 15..15' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,1 | X (7%) | |
| | trave 16..17 | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 114,3 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 59,6 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 109,8 | ✓ | |
| | trave 17..18 | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 49,6 | ✓ | |
| | | campata | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 25,2 | ✓ | |
| | | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 117,8 | ✓ | |
| | trave 18..18' | appoggio | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 109,8 | ✓ | |
| | TELAIO17 | trave 4'..4 | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ |
| | | trave 4..5 | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 119,1 | ✓ |
| | | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 54,6 | ✓ |
| trave 5..6 | | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 126,9 | ✓ | |
| | | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 92,9 | ✓ | |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 31,6 | ✓ | |
| trave 6..6' | | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 131,0 | ✓ | |
| | | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,2 | X (7%) | |
| trave 7'..7 | | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ | |
| trave 7..8 | | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 144,3 | ✓ | |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 71,2 | X (21%) | |
| | | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 157,0 | ✓ | |
| trave 8..9 | | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 110,4 | ✓ | |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 41,6 | ✓ | |
| | | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,3 | X (7%) | |
| trave 9..9' | | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,2 | X (7%) | |
| trave 10'..10 | | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ | |
| trave 10..11 | | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 140,6 | ✓ | |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 71,1 | X (21%) | |
| | | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 157,0 | ✓ | |
| trave 11..12 | | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 110,8 | ✓ | |
| | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 40,4 | ✓ | | |

| TELAIO | TRAVE | posizione | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | As [mm ²] | As' [mm ²] | x [mm] | MRd [kN*m] | Med [kN*m] | Med ≤ MRd |
|----------|---------------|-----------|-----------|--------------|-----------|--------------------------|---------------------------|-----------|---------------|---------------|--------------|
| | | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,6 | X (7%) |
| TELAIO17 | trave 12..12' | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,2 | X (7%) |
| | trave 13'..13 | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 40,5 | ✓ |
| | trave 13..14 | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 33,8 | ✓ |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 66,0 | X (15%) |
| | | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 49,9 | ✓ |
| | trave 14..15 | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 111,4 | ✓ |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 40,1 | ✓ |
| | | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 137,6 | ✓ |
| | trave 15..15' | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 145,2 | X (7%) |
| | trave 16'..16 | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 109,8 | ✓ |
| | trave 16..17 | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 125,7 | ✓ |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 15,9 | ✓ |
| | | | 400 | 1000 | 960 | 1028 | 566 | 35,56 | 197,4 | 72,6 | ✓ |
| | trave 17..18 | | 400 | 560 | 520 | 1028 | 566 | 35,56 | 104,2 | 60,2 | ✓ |
| | | | 400 | 560 | 520 | 566 | 566 | 0,00 | 56,0 | 22,6 | ✓ |
| | | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 110,6 | ✓ |
| | trave 18..18' | | 400 | 560 | 520 | 1336 | 566 | 59,27 | 134,8 | 109,9 | ✓ |

Tabella 5.3

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|---------------|-------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| TELAIO 1 | trave 1..2 | 300 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 74,3 | 542,4 | 109,0 | √ |
| | | 300 | 560 | 520 | 104 | 170 | 40,5 | 293,8 | 59,0 | √ |
| | | 300 | 560 | 520 | 104 | 170 | 55,8 | 293,8 | 59,0 | √ |
| | | 300 | 800 | 760 | 104 | 170 | 90,9 | 429,4 | 86,3 | X (5%) |
| | trave 2..3 | 300 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 170,2 | 542,4 | 109,0 | X (36%) |
| | | 300 | 660 | 620 | 104 | 170 | 96,9 | 350,3 | 70,4 | X (27%) |
| | | 300 | 660 | 620 | 104 | 170 | 81,2 | 350,3 | 70,4 | X (13%) |
| | | 300 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 108,3 | 542,4 | 109,0 | √ |
| | trave 3..3' | 300 | 660 | 620 | 104 | 170 | 38,6 | 350,3 | 70,4 | √ |
| | | | | | | | | | | |
| | trave 4'..4 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 50,6 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 90,7 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 76,0 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 44,9 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | trave 5..6 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 43,0 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 180 | 75,2 | 572,5 | 81,5 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 107,9 | 723,2 | 102,9 | X (5%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 80,6 | 467,0 | 66,5 | X (18%) |
| | trave 6..6' | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 86,5 | 467,0 | 66,5 | X (23%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 113,8 | 723,2 | 102,9 | X (10%) |
| | | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 180 | 97,6 | 760,8 | 108,3 | √ |
| | trave 7'..7 | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 66,2 | 467,0 | 66,5 | √ |
| | | | | | | | | | | |
| | trave 7..8 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 50,6 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 90,7 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 8..9 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 74,1 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 43,0 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 44,9 | 391,7 | 55,7 | √ |
| 400 | | 800 | 760 | 104 | 180 | 77,1 | 572,5 | 81,5 | √ | |
| trave 9..9' | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 109,6 | 723,2 | 102,9 | X (6%) | |
| | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 82,3 | 467,0 | 66,5 | √ | |
| | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 87,7 | 467,0 | 66,5 | X (24%) | |
| trave 10'..10 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 112,0 | 723,2 | 102,9 | √ | |
| | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 180 | 97,6 | 760,8 | 108,3 | √ | |
| | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 66,2 | 467,0 | 66,5 | √ | |
| | | | | | | | | | | |
| trave 10..11 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 50,6 | 391,7 | 55,7 | √ | |
| | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 90,7 | 723,2 | 102,9 | √ | |
| trave 10..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 76,4 | 723,2 | 102,9 | √ | |
| | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 45,3 | 391,7 | 55,7 | √ | |
| | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 42,6 | 391,7 | 55,7 | √ | |

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|----------|---------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 180 | 74,8 | 572,5 | 81,5 | √ |
| | trave 11..12 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 110,8 | 723,2 | 102,9 | X (7%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 83,5 | 467,0 | 66,5 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 83,6 | 467,0 | 66,5 | X (20%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 110,9 | 723,2 | 102,9 | X (7%) |
| | trave 12..12' | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 180 | 97,6 | 760,8 | 108,3 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 66,2 | 467,0 | 66,5 | √ |
| | trave 13'..13 | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 24,5 | 391,7 | 27,5 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 44,8 | 723,2 | 50,8 | √ |
| | trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 50,3 | 723,2 | 50,8 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 28,9 | 391,7 | 27,5 | X (5%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 32,5 | 391,7 | 27,5 | X (15%) |
| | | 400 | 800 | 760 | 57 | 200 | 55,7 | 572,5 | 40,2 | X (28%) |
| | trave 14..15 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 71,8 | 723,2 | 50,8 | X (29%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 57 | 200 | 54,6 | 467,0 | 32,8 | X (40%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 57 | 200 | 48,3 | 467,0 | 32,8 | X (32%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 65,5 | 723,2 | 50,8 | X (23%) |
| | trave 15..15' | 400 | 1050 | 1010 | 57 | 200 | 48,5 | 760,8 | 53,4 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 57 | 200 | 32,6 | 467,0 | 32,8 | √ |
| TELAIO 7 | trave 1'..1 | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 58,5 | 391,7 | 62,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 105,2 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | trave 1..2 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 99,1 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 58,2 | 391,7 | 62,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 57,5 | 391,7 | 62,7 | √ |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 160 | 99,9 | 572,5 | 91,7 | X (8%) |
| | trave 2..3 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 119,9 | 723,2 | 115,8 | X (3%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 83,5 | 467,0 | 74,8 | X (10%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 83,5 | 467,0 | 74,8 | X (10%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 74,0 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | trave 3..3' | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 35,4 | 467,0 | 74,8 | √ |
| | trave 4'..4 | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 33,1 | 391,7 | 62,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 60,5 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 91,8 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 50,9 | 391,7 | 62,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 64,9 | 391,7 | 62,7 | X (3%) |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 160 | 107,3 | 572,5 | 91,7 | X (15%) |
| | trave 5..6 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 102,0 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 73,9 | 467,0 | 74,8 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 81,6 | 467,0 | 74,8 | X (8%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 107,8 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | trave 6..6' | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 160 | 113,8 | 760,8 | 121,8 | √ |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 77,1 | 467,0 | 74,8 | X (3%) |
| | trave 7'..7 | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 33,1 | 391,7 | 59,0 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 60,5 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | trave 7..8 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 89,7 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 48,8 | 391,7 | 59,0 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 67,0 | 391,7 | 59,0 | X (12%) |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 170 | 109,4 | 572,5 | 86,3 | X (21%) |
| | trave 8..9 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 102,5 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 76,3 | 467,0 | 70,4 | X (8%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 81,2 | 467,0 | 70,4 | X (13%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 107,3 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | trave 9..9' | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 170 | 113,8 | 760,8 | 114,6 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 77,1 | 467,0 | 70,4 | X (9%) |
| | trave 10'..10 | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 58,5 | 391,7 | 59,0 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 105,2 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | trave 10..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 95,9 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 55,0 | 391,7 | 59,0 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 60,7 | 391,7 | 59,0 | X (3%) |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 170 | 103,1 | 572,5 | 86,3 | X (16%) |
| | trave 11..12 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 99,9 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 73,7 | 467,0 | 70,4 | X (5%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 83,8 | 467,0 | 70,4 | X (16%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 109,9 | 723,2 | 109,0 | X (1%) |
| | trave 12..12' | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 170 | 113,8 | 760,8 | 114,6 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 77,1 | 467,0 | 70,4 | X (9%) |
| | trave 13'..13 | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 45,2 | 391,7 | 59,0 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 81,7 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 147,2 | 723,2 | 109,0 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 81,0 | 391,7 | 59,0 | X (27%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 111,3 | 391,7 | 59,0 | X (47%) |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 170 | 179,8 | 572,5 | 86,3 | X (52%) |
| | trave 14..15 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 131,1 | 723,2 | 109,0 | X (17%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 100,0 | 467,0 | 70,4 | X (30%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 89,1 | 467,0 | 70,4 | X (21%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 120,2 | 723,2 | 109,0 | X (9%) |
| | trave 15..15' | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 170 | 106,2 | 760,8 | 114,6 | √ |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 71,9 | 467,0 | 70,4 | X (2%) |
| TELAIO 13 | trave 1..2 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 62,1 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 38,3 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 42,3 | 391,7 | 55,7 | √ |

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|--------|---------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 66,1 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 2..3 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 59,0 | 391,7 | 55,7 | X (6%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 65,7 | 391,7 | 55,7 | X (15%) |
| | trave 3..3' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 64,4 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 40,6 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 40,0 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 63,8 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 5..6 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 58,5 | 391,7 | 55,7 | X (5%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 66,2 | 391,7 | 55,7 | X (16%) |
| | trave 6..6' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 7..8 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 66,4 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 40,6 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 40,0 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 63,8 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 8..9 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 58,5 | 391,7 | 55,7 | X (5%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 66,2 | 391,7 | 55,7 | X (16%) |
| | trave 9..9' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 10..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 66,4 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 42,6 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 37,9 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 61,8 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 11..12 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 58,4 | 391,7 | 55,7 | X (5%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 66,3 | 391,7 | 55,7 | X (16%) |
| | trave 12..12' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 69,9 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 45,1 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 35,5 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 59,3 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 14..15 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 58,3 | 391,7 | 55,7 | X (4%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 66,4 | 391,7 | 55,7 | X (16%) |
| | trave 15..15' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 16..17 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 52,0 | 723,2 | 50,8 | X (2%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 33,3 | 391,7 | 27,5 | X (17%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 28,7 | 391,7 | 27,5 | X (4%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 47,4 | 723,2 | 50,8 | √ |
| | trave 17..18 | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 39,7 | 391,7 | 27,5 | X (31%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 56,2 | 391,7 | 27,5 | X (51%) |
| | trave 18..18' | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 60,0 | 391,7 | 27,5 | X (54%) |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|---------------|---------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| TELAIO 17 | trave 4'..4 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,1 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 59,5 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 35,7 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 44,8 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 68,7 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 58,3 | 391,7 | 55,7 | X (4%) |
| | trave 5..6 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 66,4 | 391,7 | 55,7 | X (16%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 7'..7 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,1 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 7..8 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 56,2 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 34,6 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 45,9 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 69,8 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 8..9 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 59,4 | 391,7 | 55,7 | X (6%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 65,3 | 391,7 | 55,7 | X (15%) |
| | trave 9..9' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 10'..10 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,1 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 10..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 57,7 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 33,8 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 46,7 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 70,5 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | trave 11..12 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 59,2 | 391,7 | 55,7 | X (6%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 65,5 | 391,7 | 55,7 | X (15%) |
| | trave 12..12' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 13'..13 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,1 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 59,9 | 723,2 | 102,9 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 31,1 | 391,7 | 55,7 | √ |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 49,4 | 391,7 | 55,7 | √ |
| 400 | | 1000 | 960 | 104 | 180 | 44,2 | 723,2 | 102,9 | √ | |
| trave 14..15 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 61,2 | 391,7 | 55,7 | X (9%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 63,5 | 391,7 | 55,7 | X (12%) | |
| trave 15..15' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,6 | 391,7 | 55,7 | X (38%) | |
| trave 16'..16 | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 60,0 | 391,7 | 27,5 | X (54%) | |
| trave 16..17 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 58,0 | 723,2 | 50,8 | X (12%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 39,2 | 391,7 | 27,5 | X (30%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 22,8 | 391,7 | 27,5 | √ | |
| | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 41,6 | 723,2 | 50,8 | √ | |
| trave 17..18 | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 39,9 | 391,7 | 27,5 | X (31%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 56,1 | 391,7 | 27,5 | X (51%) | |
| trave 18..18' | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 60,0 | 391,7 | 27,5 | X (54%) | |

Tabella 5.4

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|---------------|-------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| TELAIO 1 | trave 1..2 | 300 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 126,8 | 542,4 | 109,0 | X (14%) |
| | | 300 | 560 | 520 | 104 | 170 | 108,1 | 293,8 | 59,0 | X (45%) |
| | | 300 | 560 | 520 | 104 | 170 | 93,1 | 293,8 | 59,0 | X (37%) |
| | trave 2..3 | 300 | 800 | 760 | 104 | 170 | 143,0 | 429,4 | 86,3 | X (40%) |
| | | 300 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 186,9 | 542,4 | 109,0 | X (42%) |
| | | 300 | 660 | 620 | 104 | 170 | 158,0 | 350,3 | 70,4 | X (55%) |
| | trave 3..3' | 300 | 660 | 620 | 104 | 170 | 141,9 | 350,3 | 70,4 | X (50%) |
| | | 300 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 170,8 | 542,4 | 109,0 | X (36%) |
| | | 300 | 660 | 620 | 104 | 170 | 38,6 | 350,3 | 70,4 | v |
| | trave 4'..4 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 50,8 | 391,7 | 55,7 | v |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 91,0 | 723,2 | 102,9 | v |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 147,8 | 723,2 | 102,9 | X (30%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 116,9 | 391,7 | 55,7 | X (52%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 104,8 | 391,7 | 55,7 | X (47%) |
| | trave 5..6 | 400 | 800 | 760 | 104 | 180 | 146,8 | 572,5 | 81,5 | X (45%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 192,9 | 723,2 | 102,9 | X (47%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 165,7 | 467,0 | 66,5 | X (60%) |
| | trave 6..6' | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 171,4 | 467,0 | 66,5 | X (61%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 198,6 | 723,2 | 102,9 | X (48%) |
| | | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 180 | 98,2 | 760,8 | 108,3 | v |
| | trave 7'..7 | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 66,2 | 467,0 | 66,5 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 50,8 | 391,7 | 55,7 | v |
| | trave 7..8 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 91,2 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 136,9 | 723,2 | 102,9 | X (25%) |
| | trave 8..9 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 106,0 | 391,7 | 55,7 | X (47%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 107,8 | 391,7 | 55,7 | X (48%) |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 180 | 139,8 | 572,5 | 81,5 | X (42%) |
| | trave 9..9' | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 183,0 | 723,2 | 102,9 | X (44%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 155,8 | 467,0 | 66,5 | X (57%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 158,1 | 467,0 | 66,5 | X (58%) |
| trave 10'..10 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 185,3 | 723,2 | 102,9 | X (44%) | |
| | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 180 | 98,4 | 760,8 | 108,3 | v | |
| trave 10..11 | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 66,7 | 467,0 | 66,5 | v | |
| | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 50,9 | 391,7 | 55,7 | v | |
| trave 10'..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 91,3 | 723,2 | 102,9 | v | |
| | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 120,0 | 723,2 | 102,9 | X (14%) | |
| trave 10..11 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,0 | 391,7 | 55,7 | X (37%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 85,9 | 391,7 | 55,7 | X (35%) | |
| | 400 | 800 | 760 | 104 | 180 | 117,9 | 572,5 | 81,5 | X (31%) | |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd | |
|---------------|---------------|-------------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|---|
| | trave 11..12 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 161,2 | 723,2 | 102,9 | X (36%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 134,0 | 467,0 | 66,5 | X (50%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 133,6 | 467,0 | 66,5 | X (50%) | |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 160,8 | 723,2 | 102,9 | X (36%) | |
| | trave 12..12' | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 180 | 98,6 | 760,8 | 108,3 | √ | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 180 | 66,8 | 467,0 | 66,5 | √ | |
| | trave 13'..13 | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 24,8 | 391,7 | 27,5 | √ | |
| | | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 45,3 | 723,2 | 50,8 | √ | |
| | trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 70,4 | 723,2 | 50,8 | X (28%) | |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 48,1 | 391,7 | 27,5 | X (43%) | |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 51,4 | 391,7 | 27,5 | X (47%) | |
| | | 400 | 800 | 760 | 57 | 200 | 74,4 | 572,5 | 40,2 | X (46%) | |
| | trave 14..15 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 94,8 | 723,2 | 50,8 | X (46%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 57 | 200 | 77,6 | 467,0 | 32,8 | X (58%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 57 | 200 | 70,9 | 467,0 | 32,8 | X (54%) | |
| | | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 88,0 | 723,2 | 50,8 | X (42%) | |
| trave 15..15' | 400 | 1050 | 1010 | 57 | 200 | 49,4 | 760,8 | 53,4 | √ | | |
| | 400 | 660 | 620 | 57 | 200 | 32,6 | 467,0 | 32,8 | √ | | |
| TELAIO 7 | trave 1'..1 | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 58,7 | 391,7 | 62,7 | √ | |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 105,5 | 723,2 | 115,8 | √ | |
| | trave 1..2 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 123,2 | 723,2 | 115,8 | X (6%) | |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 82,4 | 391,7 | 62,7 | X (24%) | |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 81,7 | 391,7 | 62,7 | X (23%) | |
| | trave 2..3 | 400 | 800 | 760 | 104 | 160 | 124,0 | 572,5 | 91,7 | X (26%) | |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 139,1 | 723,2 | 115,8 | X (17%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 113,0 | 467,0 | 74,8 | X (34%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 103,6 | 467,0 | 74,8 | X (28%) | |
| | trave 3..3' | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 129,6 | 723,2 | 115,8 | X (11%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 35,4 | 467,0 | 74,8 | √ | |
| | | trave 4'..4 | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 33,2 | 391,7 | 62,7 | √ |
| | | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 60,7 | 723,2 | 115,8 | √ |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 124,1 | 723,2 | 115,8 | X (7%) | |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 83,3 | 391,7 | 62,7 | X (25%) | |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 160 | 97,9 | 391,7 | 62,7 | X (36%) | |
| | | 400 | 800 | 760 | 104 | 160 | 140,2 | 572,5 | 91,7 | X (35%) | |
| | trave 5..6 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 143,3 | 723,2 | 115,8 | X (19%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 117,2 | 467,0 | 74,8 | X (36%) | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 123,8 | 467,0 | 74,8 | X (40%) | |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 160 | 149,9 | 723,2 | 115,8 | X (23%) | |
| | trave 6..6' | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 160 | 114,2 | 760,8 | 121,8 | √ | |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 160 | 77,3 | 467,0 | 74,8 | X (3%) | |

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|---------------|---------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| | trave 7'..7 | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 33,3 | 391,7 | 59,0 | v |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 60,8 | 723,2 | 109,0 | v |
| | trave 7..8 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 117,8 | 723,2 | 109,0 | X (8%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 76,9 | 391,7 | 59,0 | X (23%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 96,5 | 391,7 | 59,0 | X (39%) |
| | trave 8..9 | 400 | 800 | 760 | 104 | 170 | 138,8 | 572,5 | 86,3 | X (38%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 137,5 | 723,2 | 109,0 | X (21%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 111,5 | 467,0 | 70,4 | X (37%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 118,0 | 467,0 | 70,4 | X (40%) |
| | trave 9..9' | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 144,0 | 723,2 | 109,0 | X (24%) |
| | | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 170 | 114,4 | 760,8 | 114,6 | v |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 77,4 | 467,0 | 70,4 | X (9%) |
| | trave 10'..10 | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 58,8 | 391,7 | 59,0 | v |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 105,7 | 723,2 | 109,0 | v |
| | trave 10..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 116,9 | 723,2 | 109,0 | X (7%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 76,0 | 391,7 | 59,0 | X (22%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 83,5 | 391,7 | 59,0 | X (29%) |
| | trave 11..12 | 400 | 800 | 760 | 104 | 170 | 125,7 | 572,5 | 86,3 | X (31%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 125,9 | 723,2 | 109,0 | X (13%) |
| | | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 99,9 | 467,0 | 70,4 | X (30%) |
| 400 | | 660 | 620 | 104 | 170 | 112,1 | 467,0 | 70,4 | X (37%) | |
| trave 12..12' | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 138,2 | 723,2 | 109,0 | X (21%) | |
| | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 170 | 114,6 | 760,8 | 114,6 | v | |
| | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 77,5 | 467,0 | 70,4 | X (9%) | |
| trave 13'..13 | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 45,4 | 391,7 | 59,0 | v | |
| | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 82,2 | 723,2 | 109,0 | v | |
| trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 157,6 | 723,2 | 109,0 | X (31%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 91,5 | 391,7 | 59,0 | X (35%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 104 | 170 | 122,8 | 391,7 | 59,0 | X (52%) | |
| trave 14..15 | 400 | 800 | 760 | 104 | 170 | 191,2 | 572,5 | 86,3 | X (55%) | |
| | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 145,2 | 723,2 | 109,0 | X (25%) | |
| | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 114,2 | 467,0 | 70,4 | X (38%) | |
| | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 104,9 | 467,0 | 70,4 | X (33%) | |
| trave 15..15' | 400 | 1000 | 960 | 104 | 170 | 135,9 | 723,2 | 109,0 | X (20%) | |
| | 400 | 1050 | 1010 | 104 | 170 | 107,0 | 760,8 | 114,6 | v | |
| | 400 | 660 | 620 | 104 | 170 | 72,4 | 467,0 | 70,4 | X (3%) | |
| TELAIO 13 | trave 1..2 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 81,4 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 57,6 | 391,7 | 55,7 | X (3%) |
| | trave 2..3 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 58,3 | 391,7 | 55,7 | X (4%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 82,2 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 73,3 | 391,7 | 55,7 | X (24%) |

Cap. 5 - Analisi sismica

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|--------|---------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 76,5 | 391,7 | 55,7 | X (27%) |
| | trave 3..3' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,8 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 96,6 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 73,0 | 391,7 | 55,7 | X (58%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 67,3 | 391,7 | 55,7 | X (55%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 91,1 | 723,2 | 102,9 | v |
| | trave 5..6 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 80,3 | 391,7 | 55,7 | X (31%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 82,3 | 391,7 | 55,7 | X (32%) |
| | trave 6..6' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,8 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 7..8 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 110,5 | 723,2 | 102,9 | X (7%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 86,9 | 391,7 | 55,7 | X (36%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 75,6 | 391,7 | 55,7 | X (26%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 99,5 | 723,2 | 102,9 | v |
| | trave 8..9 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 85,2 | 391,7 | 55,7 | X (35%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 86,8 | 391,7 | 55,7 | X (36%) |
| | trave 9..9' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,8 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 10..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 118,8 | 723,2 | 102,9 | X (13%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 95,4 | 391,7 | 55,7 | X (42%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 78,8 | 391,7 | 55,7 | X (29%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 102,7 | 723,2 | 102,9 | v |
| | trave 11..12 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 85,9 | 391,7 | 55,7 | X (35%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 86,7 | 391,7 | 55,7 | X (36%) |
| | trave 12..12' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,9 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 121,6 | 723,2 | 102,9 | X (15%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 98,3 | 391,7 | 55,7 | X (43%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 81,8 | 391,7 | 55,7 | X (32%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 105,7 | 723,2 | 102,9 | X (3%) |
| | trave 14..15 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 86,3 | 391,7 | 55,7 | X (35%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 88,0 | 391,7 | 55,7 | X (37%) |
| | trave 15..15' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 90,0 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | trave 16..17 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 83,2 | 723,2 | 50,8 | X (39%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 64,9 | 391,7 | 27,5 | X (58%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 56,7 | 391,7 | 27,5 | X (52%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 75,6 | 723,2 | 50,8 | X (33%) |
| | trave 17..18 | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 54,6 | 391,7 | 27,5 | X (50%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 68,2 | 391,7 | 27,5 | X (60%) |
| | trave 18..18' | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 61,3 | 391,7 | 27,5 | X (55%) |

| TELAIO | TRAVE | b [mm] | hTOT [mm] | d [mm] | Asw [mm ²] | s [mm] | Ved [kN] | VRcd [kN] | VRsd [kN] | Ved < VRcd |
|---------------|---------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| TELAIO 17 | trave 4'..4 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,1 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 4..5 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 89,0 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 65,2 | 391,7 | 55,7 | X (15%) |
| | trave 5..6 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 74,8 | 391,7 | 55,7 | X (25%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 98,6 | 723,2 | 102,9 | v |
| | trave 6..6' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 80,4 | 391,7 | 55,7 | X (31%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 88,9 | 391,7 | 55,7 | X (37%) |
| | trave 7'..7 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,7 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,1 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 7..8 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 98,4 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 74,6 | 391,7 | 55,7 | X (25%) |
| | trave 8..9 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 86,8 | 391,7 | 55,7 | X (36%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 110,6 | 723,2 | 102,9 | X (7%) |
| | trave 9..9' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 88,9 | 391,7 | 55,7 | X (37%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 95,4 | 391,7 | 55,7 | X (42%) |
| | trave 10'..10 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,8 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,2 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 10..11 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 96,9 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 73,0 | 391,7 | 55,7 | X (24%) |
| | trave 11..12 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 86,8 | 391,7 | 55,7 | X (36%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 110,7 | 723,2 | 102,9 | X (7%) |
| | trave 12..12' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 88,7 | 391,7 | 55,7 | X (37%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 95,6 | 391,7 | 55,7 | X (42%) |
| | trave 13'..13 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,9 | 391,7 | 55,7 | X (38%) |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 68,2 | 391,7 | 55,7 | X (18%) |
| | trave 13..14 | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 92,9 | 723,2 | 102,9 | v |
| | | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 69,0 | 391,7 | 55,7 | X (19%) |
| | trave 14..15 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 88,1 | 391,7 | 55,7 | X (37%) |
| | | 400 | 1000 | 960 | 104 | 180 | 110,7 | 723,2 | 102,9 | X (7%) |
| | trave 15..15' | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 88,7 | 391,7 | 55,7 | X (37%) |
| 400 | | 560 | 520 | 104 | 180 | 91,6 | 391,7 | 55,7 | X (39%) | |
| trave 16'..16 | 400 | 560 | 520 | 104 | 180 | 89,9 | 391,7 | 55,7 | X (38%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 60,9 | 391,7 | 27,5 | X (55%) | |
| trave 16..17 | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 76,9 | 723,2 | 50,8 | X (34%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 58,1 | 391,7 | 27,5 | X (53%) | |
| trave 17..18 | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 41,8 | 391,7 | 27,5 | X (34%) | |
| | 400 | 1000 | 960 | 57 | 200 | 60,6 | 723,2 | 50,8 | X (16%) | |
| trave 18..18' | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 56,3 | 391,7 | 27,5 | X (51%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 72,7 | 391,7 | 27,5 | X (62%) | |
| trave 18..18' | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 61,2 | 391,7 | 27,5 | X (55%) | |
| | 400 | 560 | 520 | 57 | 200 | 61,2 | 391,7 | 27,5 | X (55%) | |

Tabelle 5.5 e 5.6

| TELAIO | PILASTRO | VERIFICA |
|------------------|---------------|----------|
| TELAIO1 | pilastro 0..1 | ✓ |
| | pilastro 1..4 | ✓ |
| | pilastro 0..2 | ✓ |
| | pilastro 2..5 | ✓ |
| | pilastro 0..3 | ✓ |
| | pilastro 3..6 | ✓ |
| TEALIO 7 | pilastro 0..1 | ✓ |
| | pilastro 1..4 | ✓ |
| | pilastro 0..2 | ✓ |
| | pilastro 2..5 | ✓ |
| | pilastro 0..3 | ✓ |
| | pilastro 3..6 | ✓ |
| TEALIO 13 | pilastro 0..1 | ✓ |
| | pilastro 1..4 | ✓ |
| | pilastro 0..2 | ✓ |
| | pilastro 2..5 | ✓ |
| | pilastro 0..3 | ✓ |
| | pilastro 3..6 | ✓ |
| TEALIO 17 | pilastro 0..4 | ✓ |
| | pilastro 0..5 | ✓ |
| | pilastro 0..6 | ✓ |

| TELAIO | PILASTRO | VERIFICA |
|------------------|---------------|----------|
| TELAIO1 | pilastro 0..1 | X |
| | pilastro 1..4 | X |
| | pilastro 0..2 | X |
| | pilastro 2..5 | X |
| | pilastro 0..3 | X |
| | pilastro 3..6 | X |
| TEALIO 7 | pilastro 0..1 | ✓ |
| | pilastro 1..4 | ✓ |
| | pilastro 0..2 | X |
| | pilastro 2..5 | ✓ |
| | pilastro 0..3 | X |
| | pilastro 3..6 | ✓ |
| TEALIO 13 | pilastro 0..1 | ✓ |
| | pilastro 1..4 | ✓ |
| | pilastro 0..2 | ✓ |
| | pilastro 2..5 | ✓ |
| | pilastro 0..3 | ✓ |
| | pilastro 3..6 | ✓ |
| TEALIO 17 | pilastro 0..4 | ✓ |
| | pilastro 0..5 | ✓ |
| | pilastro 0..6 | ✓ |

Tabella 5.7

| TELAIO | PILASTRO | b [cm] | h [cm] | d [mm] | s [mm] | VEd [KN] | VRcd [KN] | VRsd [KN] | Ved < VRcd |
|------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| TELAIO1 | pilastro 0..1 | 500 | 300 | 260 | 160 | 3,4 | 244,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 1..4 | 500 | 300 | 260 | 160 | 2,2 | 244,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 0..2 | 600 | 300 | 260 | 160 | 4,3 | 293,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 2..5 | 600 | 300 | 260 | 160 | 2,0 | 293,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 0..3 | 600 | 300 | 260 | 160 | 3,3 | 293,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 3..6 | 600 | 300 | 260 | 160 | 1,3 | 293,8 | 17,2 | v |
| TEALIO 7 | pilastro 0..1 | 500 | 400 | 360 | 140 | 5,4 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 1..4 | 500 | 400 | 360 | 140 | 9,7 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..2 | 600 | 600 | 560 | 140 | 2,7 | 632,8 | 42,3 | v |
| | pilastro 2..5 | 600 | 600 | 560 | 140 | 1,4 | 632,8 | 42,3 | v |
| | pilastro 0..3 | 600 | 600 | 560 | 140 | 7,6 | 632,8 | 42,3 | v |
| | pilastro 3..6 | 600 | 600 | 560 | 140 | 1,8 | 632,8 | 42,3 | v |
| TEALIO 13 | pilastro 0..1 | 500 | 400 | 360 | 140 | 22,9 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 1..4 | 500 | 400 | 360 | 140 | 14,6 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..2 | 500 | 400 | 360 | 140 | 9,3 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 2..5 | 500 | 400 | 360 | 140 | 3,2 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..3 | 500 | 400 | 360 | 140 | 18,9 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 3..6 | 500 | 400 | 360 | 140 | 10,2 | 339,0 | 27,2 | v |
| TEALIO 17 | pilastro 0..4 | 500 | 400 | 360 | 140 | 1,9 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..5 | 500 | 400 | 360 | 140 | 1,6 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..6 | 500 | 400 | 360 | 140 | 3,0 | 339,0 | 27,2 | v |

Tabella 5.8

| TELAIO | PILASTRO | b [cm] | h [cm] | d [mm] | s [mm] | Ved [KN] | VRcd [KN] | VRsd [KN] | Ved < VRcd |
|------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| TELAIO1 | pilastro 0..1 | 500 | 300 | 260 | 160 | 15,1 | 244,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 1..4 | 500 | 300 | 260 | 160 | 10,9 | 244,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 0..2 | 600 | 300 | 260 | 160 | 17,3 | 293,8 | 17,2 | X |
| | pilastro 2..5 | 600 | 300 | 260 | 160 | 12,3 | 293,8 | 17,2 | v |
| | pilastro 0..3 | 600 | 300 | 260 | 160 | 18,5 | 293,8 | 17,2 | X |
| | pilastro 3..6 | 600 | 300 | 260 | 160 | 14,2 | 293,8 | 17,2 | v |
| TEALIO 7 | pilastro 0..1 | 500 | 400 | 360 | 140 | 26,7 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 1..4 | 500 | 400 | 360 | 140 | 18,9 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..2 | 600 | 600 | 560 | 140 | 66,8 | 632,8 | 42,3 | X |
| | pilastro 2..5 | 600 | 600 | 560 | 140 | 44,5 | 632,8 | 42,3 | v |
| | pilastro 0..3 | 600 | 600 | 560 | 140 | 73,9 | 632,8 | 42,3 | X |
| | pilastro 3..6 | 600 | 600 | 560 | 140 | 54,3 | 632,8 | 42,3 | X |
| TEALIO 13 | pilastro 0..1 | 500 | 400 | 360 | 140 | 56,9 | 339,0 | 27,2 | X |
| | pilastro 1..4 | 500 | 400 | 360 | 140 | 36,6 | 339,0 | 27,2 | X |
| | pilastro 0..2 | 500 | 400 | 360 | 140 | 31,6 | 339,0 | 27,2 | X |
| | pilastro 2..5 | 500 | 400 | 360 | 140 | 21,9 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..3 | 500 | 400 | 360 | 140 | 35,2 | 339,0 | 27,2 | X |
| | pilastro 3..6 | 500 | 400 | 360 | 140 | 20,5 | 339,0 | 27,2 | v |
| TEALIO 17 | pilastro 0..4 | 500 | 400 | 360 | 140 | 7,8 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..5 | 500 | 400 | 360 | 140 | 7,5 | 339,0 | 27,2 | v |
| | pilastro 0..6 | 500 | 400 | 360 | 140 | 8,1 | 339,0 | 27,2 | v |

6 - PIANO DI INDAGINI

L'edificio in esame è caratterizzato da un elevato grado di incertezza per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche dei materiali che lo costituiscono e in parte anche per quanto riguarda la geometria degli elementi strutturali. Si ritiene quindi di redigere un piano di indagini che vada a verificare le ipotesi assunte e i risultati ottenuti attraverso la progettazione simulata e quindi l'analisi di vulnerabilità sismica.

Il metodo adottato per la scelta delle indagini da effettuare prevede la considerazione di ogni ipotesi effettuata e la relativa prova di indagine necessaria per verificarla. Le tipologie di ipotesi e relative indagini sono divise in due gruppi: **indagini a verifica della geometria degli elementi strutturali** e **indagini conoscitive volte a determinare le caratteristiche dei materiali**. Inoltre, sulla base dei risultati del progetto simulato, sono previste delle indagini volte a determinare quantità e posizione degli elementi di armatura all'interno di pilastri, travi e setti portanti a verifica di quelli determinati. Queste sono strettamente legate alla determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali essendo necessarie per la scelta preliminare delle posizioni in cui fare i carotaggi volti a indagare le proprietà meccaniche del calcestruzzo o in cui estrarre le armature per le prove in laboratorio sull'acciaio.

Per minimizzare l'invasività della campagna di indagini è consigliabile eseguire preventivamente una campagna di prove non distruttive o debolmente distruttive per individuare zone omogenee in modo da poter poi svolgere un limitato numero di prove distruttive ed estendere i dati ottenuti ai punti appartenenti alla stessa zona omogenea. I metodi di indagine non distruttiva quindi sono ammessi per l'esecuzione di confronti, anche se non possono sostituire in modo integrale i test distruttivi.

Carotaggi

Questa prova consiste nel prelievo di campioni cilindrici di calcestruzzo mediante carotatrici a corona diamantata con raffreddamento ad acqua. E' il metodo più affidabile per la determinazione della resistenza in-situ del calcestruzzo ma è anche un buon metodo per la calibrazione dei risultati provenienti da prove non distruttive.

I punti di prelievo devono essere rappresentativi dello stato complessivo dell'edificio, devono riassumere la variabilità delle caratteristiche strutturali, maggiore è l'eterogeneità della struttura maggiore deve essere l'accuratezza delle indagini. La misura delle

caratteristiche meccaniche del calcestruzzo si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a compressione sino a rottura. Il campionamento all'interno di un elemento strutturale deve avvenire nelle zone meno sollecitate.

Prove con sclerometro

Questo strumento serve a determinare la durezza superficiale del calcestruzzo per valutarne l'omogeneità, definire le zone di calcestruzzo degradato e ottenere informazioni approssimative sulla resistenza del calcestruzzo per una profondità di massimo 30 mm. Il principio di funzionamento si basa su una massa scagliata da una molla che colpisce un pistone a contatto con la superficie di prova, in base alla distanza di rimbalzo della massa, mediante curve in dotazione allo strumento, si determina l'indice sclerometrico che viene correlato alla resistenza a compressione del calcestruzzo.

Prove ultrasoniche

Servono a valutare l'uniformità del calcestruzzo per creare delle vere e proprie mappe delle velocità (tomografia sonora) e individuare quindi zone omogenee, consente di identificare le disomogeneità interne come fessure e vespai.

Vengono impiegati dei trasduttori elettroacustici che generano, attraverso un impulso, delle onde sonore, di solito di frequenza compresa nell'intervallo 40-120 Hz. Si misura il tempo impiegato ad attraversare un mezzo compreso tra il trasduttore trasmettente e quello ricevente collocati a distanza nota (di solito nelle facce opposte) e si ricava la velocità di propagazione. Questa è riconducibile al modulo elastico del calcestruzzo.

Prove magnetometriche

Si utilizza un emettitore di campo magnetico, il pacometro, che sfruttando le proprietà magnetiche del ferro riesce a localizzare le armature. Può determinare la profondità, la distribuzione e il diametro delle armature. E' fondamentale per determinare i punti in cui eseguire scarifiche e carotaggi.

INDAGINI PER DETERMINARE LA GEOMETRIA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Gli elementi strutturali di cui non si conoscono le caratteristiche geometriche sono i cordoli di piano di cui non si conoscono le dimensioni delle sezioni, le solette in c.a. portanti, che costituiscono la porzione di solaio aggettante a mensola, di cui non si conosce lo spessore e i solai in laterocemento di cui non si conoscono dimensioni di pignatte, posizione delle nervatura in c.a. e spessore della cappa collaborante. Viene riportata in forma tabellare un'ipotesi di piano di indagini volto a reperire queste informazioni.

| ELEMENTO OGGETTO DI INDAGINE | INDAGINE | POSIZIONE |
|--|--|---|
| Dimensione sezione trasversale cordoli in c.a. | <ul style="list-style-type: none"> • Rimozione intonaco e indagine visiva • Rimozione controsoffitto e indagine visiva | <ul style="list-style-type: none"> • Prospetto esterno, terrazza piano primo, corpo ovest • Intradosso solaio interno in corrispondenza della scarifica esterna |
| Soletta in c.a. | <ul style="list-style-type: none"> • Micro-carotaggio | <ul style="list-style-type: none"> • solaio aggettante corpo ovest e corpo est |
| Solaio in laterocemento | <ul style="list-style-type: none"> • Rimozione intonaco e indagine visiva | <ul style="list-style-type: none"> • Intradosso solaio interno corpo ovest e corpo est |

INDAGINI PER DETERMINARE LE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

La struttura portante dell'edificio oggetto di studio è un telaio in c.a., i materiali di cui si devono conoscere i parametri meccanici sono quindi calcestruzzo e acciaio. Sono state ipotizzate, sulla base della normativa e dei manuali di scienza e tecnica delle costruzioni dell'epoca, delle tensioni caratteristiche adottate per lo svolgimento della progettazione simulata. Queste dovranno essere valutate con delle accurate indagini sperimentali per verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti nel progetto simulato e quindi nell'analisi di vulnerabilità sismica.

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su

indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; (...) I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.¹

| PARAMETRO OGGETTO DI INDAGINE | INDAGINE | POSIZIONE |
|-------------------------------|---|--|
| Posizione ferri d'armatura | <ul style="list-style-type: none"> • Pacometro | <ul style="list-style-type: none"> • a campione per la verifica dell'armatura • prima di effettuare i carotaggi per determinare le posizioni adeguate |
| Spessore del copriferro | <ul style="list-style-type: none"> • Pacometro | <ul style="list-style-type: none"> • A campione su un numero adeguato di travi e pilastri |
| Resistenza meccanica cls | <ul style="list-style-type: none"> • Sclerometro • Carotaggio e successive prove in laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> • A campione • Pilastro PT e P4, setto portante scale corpo ovest, pilastro PT, setto portante nucleo scale ascensore corpo est |
| Resistenza meccanica acciaio | <ul style="list-style-type: none"> • Prelievo di un campione di ferro d'armatura e successive prove in laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> • Dove sono stati già effettuati i carotaggi. |
| Modulo elastico cls | <ul style="list-style-type: none"> • Prove ultrasoniche | <ul style="list-style-type: none"> • In ogni piano di entrambi i corpi di fabbrica per determinare delle zone con caratteristiche omogenee |

¹ NTC 2008, cap 8.5.3, Caratterizzazione meccanica dei materiali

Conclusioni

L'obiettivo prefissato nella tesi era quello di valutare la vulnerabilità sismica di un edificio a telaio in cemento armato a nodi rigidi, costruito negli anni '60 del Novecento.

La mancanza di informazioni sulla struttura del fabbricato ha portato ad assumere delle ipotesi cautelative sulle caratteristiche dei materiali e a ricorrere alla progettazione simulata, allo scopo di determinare i ferri d'armatura presenti negli elementi strutturali, secondo il Regio Decreto Legge del 1939, usando quindi il metodo delle tensioni ammissibili.

Partendo dai risultati ottenuti dalla prima fase del lavoro, si è proceduto con l'analisi di vulnerabilità sismica secondo la normativa attuale: NTC 2008. E' stato creato un modello a elementi finiti con il programma di calcolo Straus 7, attraverso il quale è stata eseguita un' analisi dinamica lineare. Le sollecitazioni determinate sono state utilizzate per eseguire le verifiche di resistenza allo stato limite ultimo.

A conclusione del lavoro svolto, si può affermare che Palazzo Sarpi presenta elementi resistenti non idonei a sopportare la domanda di prestazione imposta da un evento sismico, secondo lo spettro di progetto in accelerazione relativo alla città di Padova; in particolare i pilastri dei piani inferiori non soddisfano le verifiche a taglio e a pressoflessione, ma anche le travi presentano un sottodimensionamento dell'armatura specifica a taglio. Si può inoltre dedurre dai risultati ottenuti che il corpo Ovest presenta un maggior numero di sezioni non verificate rispetto al corpo Est, risultato probabilmente dovuto al sovraccarico in copertura di impianti tecnici e pannelli solari, aggiunti negli anni '90, non in fase di progetto.

La sollecitazione più gravosa è quella tagliante, in particolare quella dovuta all'azione sismica, con una percentuale di sezioni non verificate superiore al 70% nelle travi e quasi del 50% dei pilastri. Si è riscontrato però anche una percentuale di sezioni (il 45% di quelle considerate) che non soddisfano la verifica a taglio nelle travi nei confronti dei soli carichi gravitazionali; le motivazioni di questo risultato sono da ricercarsi nell'ipotesi fatta di affidare parte della sollecitazione tagliante all'armatura longitudinale piegata secondo la consuetudine e la normativa dell'epoca della costruzione. Le Norme Tecniche prevedono invece, in presenza di azione sismica, che il taglio venga assorbito dalle sole staffe, ne consegue che mentre per l'analisi statica secondo il metodo delle tensioni ammissibili è sufficiente una quantità di armatura specifica a taglio esigua, per l'analisi allo stato limite ultimo questa armatura risulta insufficiente anche nei confronti dei soli

carichi gravitazionali. I nodi della struttura risultano infatti essere solo parzialmente confinati: il passo tra le staffe è costante e non si riduce in corrispondenza di essi; attualmente invece la normativa impone un passo tra le staffe molto fitto in corrispondenza dei nodi per realizzare un effetto di confinamento.

Va precisato che sono state prese in considerazione ipotesi molto cautelative sia per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche dei materiali sia per i parametri prescritti per la valutazione della sicurezza antisismica. Il valore assegnato al fattore di sicurezza q è il minore previsto dalla normativa, anche per quanto riguarda i meccanismi duttili, e comporta quindi l'introduzione di un'accelerazione sismica notevoli e il fattore di confidenza corrisponde ad un livello di conoscenza 1. Non si esclude quindi un esito più prossimo al soddisfacimento delle verifiche, nel caso di accrescimento del livello di conoscenza tramite un approfondito piano di indagini.

BIBLIOGRAFIA

L. Santarella, Prontuario del cemento armato, XXVI edizione, Milano, Hoepli, stampa 1968.

D. Fois, Corso di costruzioni: calcolo degli elementi strutturali, Bologna ed. Calderini, 1977.

Bollettino di legislazione tecnica, Associazione nazionale ingegneri e architetti italiani (ANIA), ed. USPI (Unione stampa periodica italiana), a. 1980, n. 6-7.

Prontuario per il calcolo di elementi strutturali, a cura di B. Furiozzi, C. Messina, L. Paolini, Firenze ed. Le Monnier, 1978.

Guida all'uso di Straus 7. Concezione, sviluppo e implementazione: G+D Computing, Sydney NSW 2000 Australia, 1999.

G.M. Verderame, A. Stella, E. Cosenza, Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate negli anni '60, in Atti dell' X Congresso nazionale "L'ingegneria sismica in Italia" Potenza-Matera 9-13 settembre 2001 a cura di ANIDIS (Associazione nazionale italiana di ingegneria sismica).

M. Vona, A. Masi, Resistenza sismica di telai in cemento armato progettati con il R.D. 2229/39, in: Atti dell' XI Congresso nazionale "L'ingegneria sismica in Italia", Genova 25-29 gennaio 2004, a cura di ANIDIS (Associazione nazionale italiana di ingegneria sismica).

F. Da Porto, Corso di costruzioni in zona sismica, Università degli Studi di Padova, a.a. 2011-2012

F. Da Porto, Corso di tecnica delle costruzioni 2, Università degli Studi di Padova, a.a. 2012-2013

C. Modena, M.R. Valluzzi, E. Stievanin, Edifici esistenti in cemento armato, in: Corso di Problemi strutturali dell'edilizia storica, Università degli Studi di Padova, a.a. 2012-2013

RIFERIMENTI NORMATIVI

Regio Decreto 16 novembre 1939, n. 2229, “Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato”, Gazzetta ufficiale n. 92 del 18.4.1940.

Legge 25 novembre 1962, n. 1684, Provvedimenti per l’edilizia, con particolari prescrizioni per le zone sismiche, Gazzetta ufficiale n. 326 del 22.12.1962.

Legge 5 novembre 1971, n. 1086, Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale precompresso ed a struttura metallica, Gazzetta ufficiale n. 321 del 21.12.1971.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 20 marzo 2003, n.3274, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008), Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 .

Circolare 2 febbraio 2009, Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009.

Appendice 1

Appendice 2

Appendice 3

