Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale
Anno accademico 2021/2022

Riabilitazione strutturale del palazzo RAI di Torino

Relatore:
Prof. Ing. GIUSEPPE FERRO

Candidato:
GABRIELE CANNALIRE

Marzo 2022

Ringrazio la mia compagna e tutta la mia famiglia

Indice

1. Introduzione
1.1. Palazzo RAI ..... p. 1

2. Valutazione di vulnerabilità
2.1. Valutazione di vulnerabilità ..... p. 5
2.2. Tipologie di interventi ..... p. 7
2.3. Modello di riferimento per l'analisi ..... p. 9
2.4. Analisi storico-critica e rilievo ..... p. 10
2.5. Livelli di conoscenza ..... p. 12

3. Analisi documentale
3.1. Analisi storica ..... p. 16
3.2. Insieme dei corpi strutturali ..... p. 17
3.3. Fondazioni pre-esistenti ..... p. 19
3.4. Blocco unico delle fondazioni ..... p. 21
3.5. Interazione tra le strutture in elevazione ..... p. 30
3.6. Piano rigido. ..... p. 31
3.7. Modifiche strutturali ..... p. 34
3.8. Carichi dei solai ..... p. 35

4. Descrizione degli elementi strutturali
4.1. Tipologia di struttura ..... p. 36
4.1.1. Corpo principale: struttura in elevazione ..... p. 39
4.1.1.1. Portali dei telai di controvento ..... p. 41
4.1.1.2. Portali dei telai normali ..... p. 43
4.1.1.3. Colonne controventate ..... p. 46
4.1.1.4. Colonne controventate centrali ..... p. 47
4.1.1.5. Colonne normali esterne ..... p. 49

4.1.1.6. Colonne normali centrali ..... p. 50
4.1.1.7. Travi principali ..... p. 55
4.1.1.8. Travi secondarie ..... p. 57
4.1.1.9. Travi copertura esterna ..... p. 59
4.1.1.10. Controventi.. ..... p. 60
4.1.1.11. Pensilina .... p. 64
4.1.2. Corpo scale: struttura in elevazione ..... p. 69
4.1.2.1. Colonne corpo scale ..... p. 70
4.1.2.2. Travi corpo scale ..... p. 73
4.1.3. Fondazioni……. ..... p. 76

5. Modello di calcolo
5.1. Considerazioni generali ..... p. 78
5.2. Modellazione strutturale ..... p. 80
5.2.1. Carichi verticali……. ..... p. 82
5.2.2. Carichi orizzontali……. ..... p. 83
5.2.3. Valutazione degli elementi di controvento……. ..... p. 85
5.3. Modello incastrato ..... p. 86
5.4. Confronto modelli ..... p. 88
5.5. Validazione modello ..... p. 99

6. Conclusioni p.107

Bibliografia p.110

Capitolo 1

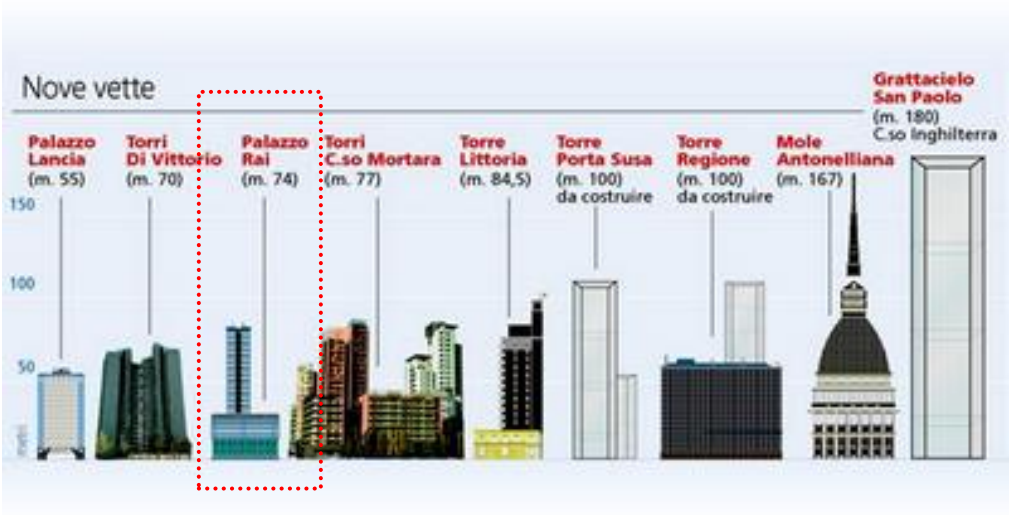
Introduzione

1.1 Palazzo RAI

Il presente lavoro ha come obiettivo l'analisi strutturale del palazzo RAI di Torino.

Vista edificio dal lato della stazione storica di Porta Susa
(fonte immagine www.investinitalyrealestate.com)

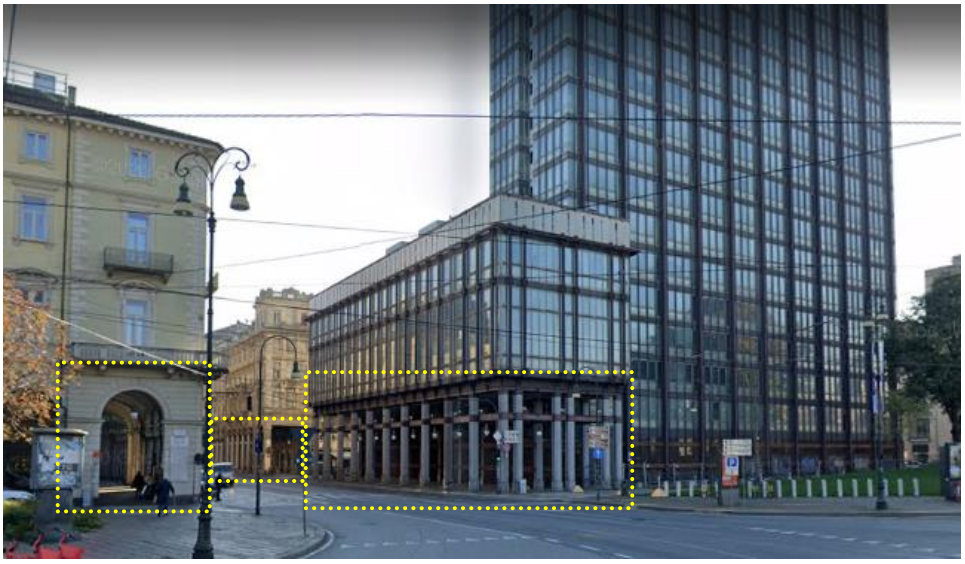
Il "grattacielo" RAI è una tra le strutture più alte della città di Torino. Costruito durante gli anni del boom economico degli anni '60 su progetto di Aldo Morbelli e Domenico Morelli in una posizione relativamente centrale, si integra tutt'oggi in maniera omogenea nello skyline della città.



(Fonte: https://www.moleantonellianatorino.it/contenuti/la-storia-della-mole-antonelliana.html)

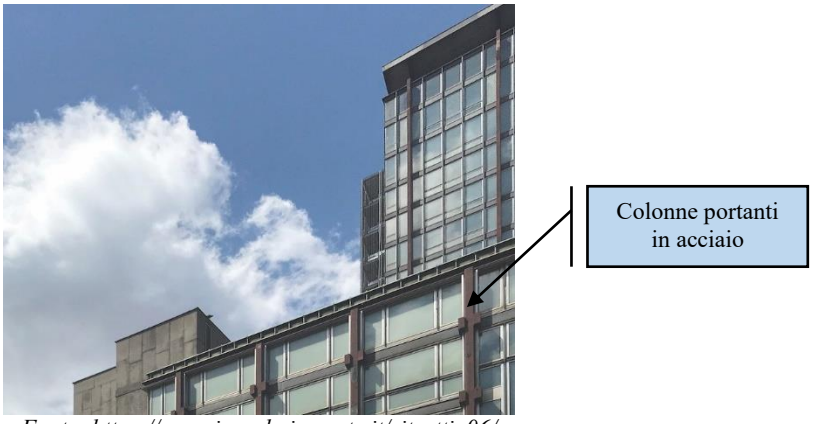
Nato come sede nazionale della Radiotelevisione Italiana, poi trasferita a Roma, è situato al confine del centro storico della città tra corso Bolzano, piazza XVIII Dicembre e via Cernaia, proprio di fronte alla storica stazione di Porta Susa.
La struttura portante del palazzo è costituita da travi e pilastri in acciaio a sezione variabile con l'altezza, integrata con elementi di controvento.

Nella struttura si può vedere la volontà di non creare una completa spaccatura con le strutture circostanti, risalenti al secolo precedente, ma di integrarsi, presentando, come gli edifici limitrofi, un porticato alla base, tipico della città di Torino.



Fonte: Google Maps

Un'altra particolarità di questo edificio è rappresentata dalla vista in facciata della struttura portante, che diventa così anche un elemento architettonico, seguendo le regole del *curtain wall (facciata continua)* in alluminio e vetro, evocando le tecniche costruttive di altri edifici alti construiti nel mondo negli anni precedenti:



Fonte: https://www.inarchpiemonte.it/ritratti_06/

Lo scopo della tesi è l'analisi della struttura, per poterne studiare il comportamento utilizzando le Norme Tecniche per le Costruzione edizione 2018 (NTC18).
Sulla base dei risultati ottenuti si valuterà se e come questo edificio potrà tornare ad avere "nuova vita".

Vista edificio dall'alto
(fonte immagine www.investinitalyrealestate.com)

Le informazioni necessarie alla corretta modellazione strutturale dell'edificio sono state ricavate dalla documentazione storica relativa agli anni della costruzione e per una più dettagliata divisione degli elaborati, si rimanda al capitolo dedicato.

Capitolo 2

Valutazione di vulnerabilità

2.1 Valutazione di vulnerabilità

La valutazione di vulnerabilità della struttura esistente in acciaio, oggetto di analisi, rappresenta il primo passo fondamentale per stimare lo stato della costruzione e per pianificare e progettare gli interventi eventualmente necessari per metterla in sicurezza. Questo processo si compone di varie fasi ed è importante tenere conto di molti aspetti:

- considerare il periodo della costruzione, in quanto la struttura è figlia delle conoscenze e delle tecniche costruttive dell'epoca: nel caso in esame, la struttura è stata costruita all'inizio degli anni '60, perciò in un periodo relativamente recente per poter indagare in maniera adeguata la pratica costruttiva;

- considerare che la struttura può aver subito modifiche negli anni oppure può essere stata sottoposta ad azioni eccezioni: di conseguenza i risultati dell'analisi strutturali potrebbero essere differenti se non tenute in conto;

- potrebbe esserci stato un cambio di destinazione d'uso della struttura durante gli anni: per quanto riguarda la struttura in esame non si hanno evidenze in merito in quanto ha ospitato uffici fino a quando è rimasta in uso;

- potrebbero essere presenti difetti o degrado o modifiche di costruzione non presenti sugli elaborati di progetto: di conseguenza risulta importante verificare in sito le informazioni presente nella documentazione dell'epoca;

- potrebbero essere stati eseguiti interventi anche non strutturali, che vanno a modificare il comportamento delle strutture portanti, come ad esempio l'installazione di impianti in zone dove a progetto non erano previsti: nel caso così fosse è importante inoltre stabilire se il carico in questione interessa una zona limitata della struttura oppure influisce sul comportamento globale;

- potrebbero essere stati modificati gli edifici circostanti: nel caso dell'edificio alto in esame, esso risulta essere posizionato al centro di un isolato e circondato da edifici bassi su 3 lati. Di conseguenza è importante valutare come la loro interazione sia stata presa in considerazione in fase progettuale e se negli anni sono state apportate modifiche;

L'approfondimento necessario dipende inoltre anche dal tempo a disposizione e dalla necessità di intervento: per questo motivo quindi è importante stabilire anche le risorse a disposizione per indagare la struttura e quali sono i benefici che ne conseguono.

2.2 Tipologie di interventi

La valutazione di tutti gli aspetti sopra riportati possono portare, nel caso in esame, a definire se la struttura necessita o meno di interventi: di conseguenza è importante stabilire in modo univoco il livello di sicurezza della struttura prima e dopo gli eventuali interventi eventualmente necessari.
Questa prima parte di lavoro riguarda quindi la valutazione della sicurezza nello stato di fatto, che dovrà essere seguita dalla valutazione della sicurezza nello stato di progetto, qualora siano necessari interventi.
Questa valutazione si esplicita in termini numerici attraverso due rapporti, definiti come di seguito all'interno delle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni:

- ξ_E= rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche;
- $\xi_{v,i}$= rapporto tra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile dalla parte i-esima della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione;

Come già anticipato, su una struttura esistente in acciaio come quella in esame gli interventi, qualora necessari, possono essere di differenti tipi e più nello specifico:

- **intervento di riparazione o locale**: questa tipologia di intervento non modifica il comportamento globale della struttura (di conseguenza non è necessaria una valutazione globale della struttura) e può essere adottata qualora la struttura esistente soddisfi i requisiti di sicurezza prestabiliti. Nel caso in esame, alcuni esempi di interventi locali potrebbero essere rinforzi locali delle travi o dei pilastri in acciaio che costituiscono la parte di edificio in elevazione, il ripristino localizzato del calcestruzzo nelle strutture interrate o la sostituzione di elementi danneggiati;

- **intervento di miglioramento:** questa tipologia di intervento aumenta la sicurezza globale della struttura, perciò richiede anche una valutazione globale dello stato di fatto. Nel caso in esame alcuni esempi di interventi di miglioramento possono essere l'inserimento di nuovi trave o pilastri per dare maggiore regolarità alla struttura oppure l'inserimento di controventi di piano o si falda oppure ancora la cerchiatura delle strutture in cemento armato negli interrati. Nel caso di intervento di miglioramento, il valore ξ_E può assumere un valore inferiore all'unità;

- **interventi di adeguamento:** questa tipologia di interventi permette di raggiungere i livelli di sicurezza delle strutture di nuova costruzione, perciò riguardano la costruzione nella sua interezza. Nel caso in esame, potrebbe essere necessario un intervento di adeguamento qualora vi fosse ad esempio un cambio di destinazione d'uso, si decidesse di eseguire eventuali ampliamenti interferenti con la struttura oppure ci fosse una variazione dell'altezza dell'edificio. Nel caso di intervento di adeguamento il valore di ξ_E deve essere maggiore o uguale all'unità nel caso di ampliamento, sopraelevazione o interventi strutturali che trasformano la costruzione e può essere maggiore o uguale a 0,8 nel caso di cambio di destinazione d'uso oppure della classe d'uso.

Le costruzioni in acciaio, più di quelle in muratura o in cemento armato sono notevolmente più versativi per gli interventi di riparazione, ripristino o sostituzione degli elementi strutturali. Per questo motivo quindi una buona progettazione degli interventi permette di ottenere notevoli benefici strutturali.

2.3 Modello di riferimento per l'analisi

Le tecniche costruttive del passato ci possono essere oggigiorno più o meno conosciute, anche sulla base della documentazione progettuale disponibile.
Per quanto riguarda la struttura in esame, si tratta di una costruzione in acciaio degli anni '60, di cui sono disponibili molti disegni costruttivi. Va da sé che la definizione del modello di calcolo ha seguito quanto riportato sugli elaborati, a meno di alcuni elementi non riscontrati nella documentazione disponibile, perciò si è optato per ipotizzare alcuni profili per poter portare avanti l'analisi globale.
Come si può notare, quindi, il modello di calcolo rappresenta uno strumento fondamentale nel processo conoscitivo della struttura, in quanto oltre ad evidenziare le lacune, permette di localizzare in maniera adeguata le indagini eventualmente necessarie.

2.4 Analisi storico-critica e rilievo

Lo studio della storia della costruzione rappresenta un elemento fondamentale di conoscenza: ricostruire l'evoluzione delle fasi costruttive e indagare l'uso della costruzione durante la sua vita permette di determinare se la struttura ha subito trasformazioni, se ci sono stati fenomeni di degrado oppure è stata sottoposta ad azioni eccezionali o comunque non previste a progetto.
La documentazione disponibile dell'edificio rappresenta il progetto costruttivo a cura dell'impresa appaltatrice, perciò è lecito pensare che quanto riportato sugli elaborati a disposizione rappresenta quanto costruito, comprese le eventuali modifiche avvenute in fase di esecuzione.

Immagine dell'epoca della costruzione,
con appeso il cartellone dell'impresa costruttrice e riportato sugli elaborati

Per quanto noto, il grattacielo è rimasto in funzione e ha ospitato uffici fino agli anni ’90, senza subire cambi di destinazione d’uso. La struttura è stata in seguito chiusa, ma non per motivi strutturali e rimane tuttora chiusa in attesa di riqualificazione.
Per un maggior dettaglio dell’analisi degli elaborati progettuali, si rimanda al capitolo dedicato, dove vengono riportate le principali caratteristiche della struttura.

2.5 Livello di conoscenza

Gli aspetti elencati nei paragrafi precedenti permettono di definire il livello di conoscenza della struttura. Le Norme Tecniche delle Costruzioni stabiliscono 3 diversi livelli di conoscenza e quali sono i relativi requisiti per poterli raggiungere.
Per poter stabilire il livello di conoscenza della struttura in esame, è necessario basarsi su tutta la documentazione disponibile riguardante i materiali impiegati e i particolari costruttivi. Una volta stabilito il livello di conoscenza, è possibile determinare il relativo fattore di confidenza, ovvero un coefficiente di sicurezza che va a diminuire i valori di resistenza dei materiali ricavati dai documenti di progetto oppure dalle prove in sito, determinando così il valore di resistenza di calcolo da impiegare nelle verifiche degli elementi strutturali.
Viene di seguito riportato un quadro schematico dei principali requisiti necessari per raggiungere un certo livello di conoscenza, estratto dalle NTC18:

LIVELLO DI CONOSCENZA	FATTORE DI CONFIDENZA	REQUISITI
LC1	1,35	▪ Analisi storico-critica ▪ Rilievo geometrico completo ▪ Indagini limitate sui dettagli costruttivi ▪ Prove limitate sulle caratteristiche meccaniche dei materiali
LC2	1,20	▪ Analisi storico-critica ▪ Rilievo geometrico completo ▪ Indagini estese sui dettagli costruttivi ▪ Prove estese sulle caratteristiche meccaniche dei materiali
LC3	1	▪ Analisi storico-critica ▪ Rilievo geometrico completo ed accurato in ogni sua parte ▪ Indagini estese sui dettagli costruttivi ▪ Prove estese sulle caratteristiche meccaniche dei materiali

Con riferimento ai requisiti precedentemente riportati, la norma riporta alcune precisazioni, che possono valere anche nel caso studio in esame:

- sulle proprietà meccaniche dell'acciaio si possono fare considerazioni strettamente legate all'epoca della costruzione, in quanto dovrebbe conoscere il materiale impiegato negli anni: di conseguenza se le indagini sui materiali sono l'unico aspetto che potrebbe determinare il passaggio di classe, nel caso delle costruzioni in acciaio si possono effettuare queste opportune valutazioni storiche.

- per il raggiungimento della classe LC3, il rilievo geometrico completo e l'indagine estesa sui dettagli costruttivi può essere omessa nel caso si abbiano le tavole di progetto: nel caso in esame per buona parte degli elementi strutturali si hanno gli elaborati, quindi per questi rimane da verificare la corrispondenza con quanto presente in opera;

Come evidente, essere in possesso degli elaborati di progetto può rappresentare un notevole vantaggio nel processo conoscitivo.
La documentazione disponibile per l'edificio riguarda tavole grafiche relative al progetto costruttivo dell'edificio alto e della maggior parte degli elementi strutturali che lo compongono. All'interno di tali elaborati vengono infatti riportati i particolari costruttivi della parte di struttura in acciaio e di quella interrata in cemento armato.
L'analisi della documentazione di progetto, all'interno di una valutazione di vulnerabilità, va inoltre di pari passo con la programmazione delle indagini e delle prove da eseguire in sito: anche questo aspetto è stabilito dalle attuali norme, in quanto contribuisce ad aumentare il livello di conoscenza della struttura.

Per poter quindi fissare in maniera adeguata il livello di conoscenza, le NTC riportano una tabella riepilogativa delle informazioni necessarie e quali sono i metodi di verifica da adottare per le strutture in acciaio:

LIVELLO DI CONOSCENZA	GEOMETRIE (CARPENTERIE)	DETTAGLI STRUTTURALI	PROPRIETA' DEI MATERIALI	METODI DI ANALISI	FATTORE DI CONFIDENZA
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca ***e indagini limitate*** in sito	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e ***prove limitate*** in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con indagini limitate in situ; in alternativa ***indagini estese*** in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con prove limitate in situ; in alternativa ***prove estese*** in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con indagini limitate in situ; in alternativa ***indagini esaustive*** in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con prove estese in situ; in alternative ***prove esaustive*** in situ	Tutti	1,00

Una volta stabilito se è necessario effettuare indagini limitate, estese o esaustive, la norma fornisce inoltre orientativamente anche un numero di prove da effettuare, ma in ogni caso è necessario adattare queste indicazioni al caso in esame, tenendo in considerazione la ripetitività degli elementi, i risultati delle indagini preliminari e l'omogeneità dei materiali impiegati:

LIVELLO DI INDAGINI E PROVE	**RILIEVO DEI COLLEGAMENTI**	**PROVE SUI MATERIALI**
	PER OGNI ELEMENTO "PRIMARIO" (TRAVE, PILASTRO…)	
Limitato	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Esteso	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provino di acciaio per piano dell'edificio, 2 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Esaustivo	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provino di acciaio per piano dell'edificio, 3 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio

Capitolo 3

Analisi documentale

3.1 Analisi storica

Lo studio della storia della costruzione rappresenta un elemento fondamentale di conoscenza: risulta importante ricostruire l'evoluzione delle fasi costruttive e indagare l'uso della costruzione durante la sua vita, per determinare se la struttura abbia subito trasformazioni, se ci sono stati fenomeni di degrado oppure è stata sottoposta ad azioni eccezionali o comunque non previste a progetto.
In merito a questi aspetti, di seguito vengono riportate alcune valutazione, che andranno in ogni caso verificate in sito.
Nel paragrafi inoltre vengono riporate una serie di considerazioni dedotte a partire dagli elaborati grafici disponibili al momento della stesura della presente tesi, che rappresentano parte del progetto costruttivo a cura dell'impresa esecutrice.

3.2 Insieme dei corpi strutturali

L'isolato interessato dalla costruzione si compone di diversi edifici di altezze differenti: se ne riporta di seguito un quadro generale:

- **Edifico alto**: struttura in acciaio con 18 piani fuori terra e due piani interrati in c.a., posizionato centralmente nell'isolato, raggiunge un'altezza complessiva di circa 72 m;

- **Corpo scale**: struttura in acciaio con 18 piani fuori terra e due piani interrati in c.a., posizionato in adesione all'edificio principale e collegato con esso;

- **Corpo basso Via Guicciardini:** la struttura presenta due piani interrati in c.a., collegati alle strutture di fondazione dell'edificio alto, mentre la parte in elevazione c'è solamente lungo Via Guicciardini: i piani in elevazione sono in

acciaio e arrivano fino ad una quota di 21,90 m circa (di questo edificio si hanno a disposizione in questa fase anche le tavole della carpenteria metallica, perciò le altezze degli altri edifici bassi verranno rapportati ad esso, in quanto se ne conosce la quota);

- **Corpo basso con porticato Via Cernaia:** la struttura presenta due piani interrati in c.a., collegati alle strutture di fondazione dell'edificio alto, mentre la parte in elevazione si compone del porticato e piani soprastanti, fino ad arrivare alla stessa quota dell'edificio su Via Guicciardini (disegni edificio fuori terra al momento non disponibili);

- **Corpo basso con rampa Via Ruffini:** la struttura presenta due piani interrati in c.a., collegati alle strutture di fondazione dell'edificio alto - in questa zona è collocata anche la rampa di accesso da Piazza XVIII Dicembre per l'ingresso negli interrati - e piani fuori terra con struttura in acciaio, che rimangono più bassi rispetto all'edificio su Via Guicciardini (disegni edificio fuori terra al momento non disponibili);

- **Corpo interrato Piazza XVIII Dicembre:** la struttura presenta due piani interrati in c.a., collegati alle strutture di fondazione dell'edificio alto e non presenta strutture in elevazione, lasciando aperta la zona della piazza di fronte al grattacielo.

3.3 Fondazioni pre-esistenti

In questo paragrafo viene riportato un aspetto che non è stato possibile verificare sugli elaborati grafici a disposizione.
Secondo quanto riportato sui comuni siti web relativi notizie storiche sul grattacielo, la struttura sarebbe stata edificata sulle pre-esistenti fondazioni costruite per la Torre Littoria, la quale è stata poi eretta in Via Viotti.
Purtroppo non è stato possibile dalla documentazione a disposizione verificare tale aspetto, infatti:

- sugli elaborati di progetto (datati quindi all'inizio degli anni '60) sono presenti le fondazioni del grattacielo, che sembrerebbero essere delle fondazioni realizzate all'epoca della costruzione dell'edificio, in quanto si è in possesso di tutti i dettagli dei ferri di armatura e di tutti gli elementi strutturali. Tuttavia non vengono riportate fondazioni pre-esistenti o eventuali collegamenti, quindi rimane da stabilire quale parte è stata costruita negli anni '60 e quale in precedenza;

- potrebbero essere state realizzate delle fondazioni profonde negli anni '30, in occasione della costruzione della Torre Littoria e in tal caso, al di sotto della platea riportata sugli elaborati, potrebbero essere presenti pali di fondazione; purtroppo non si hanno al momento a disposizione i documenti di progetto.

Questo aspetto delle fondazioni pre-esistenti rimane da verificare o con delle indagini in sito o recuperando presso gli archivi storici la documentazione inerente la Torre Littoria.

Immagine del cantiere, in cui sono visibili anche le fondazioni

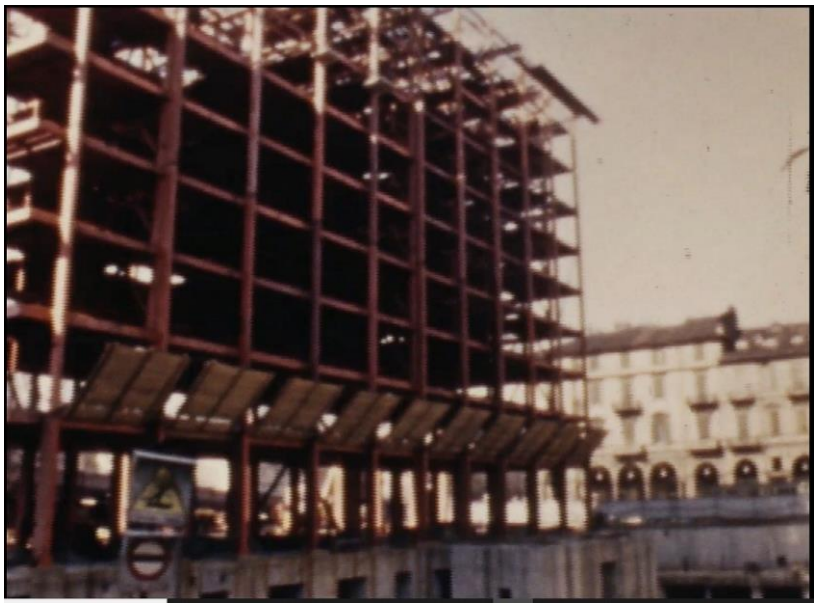
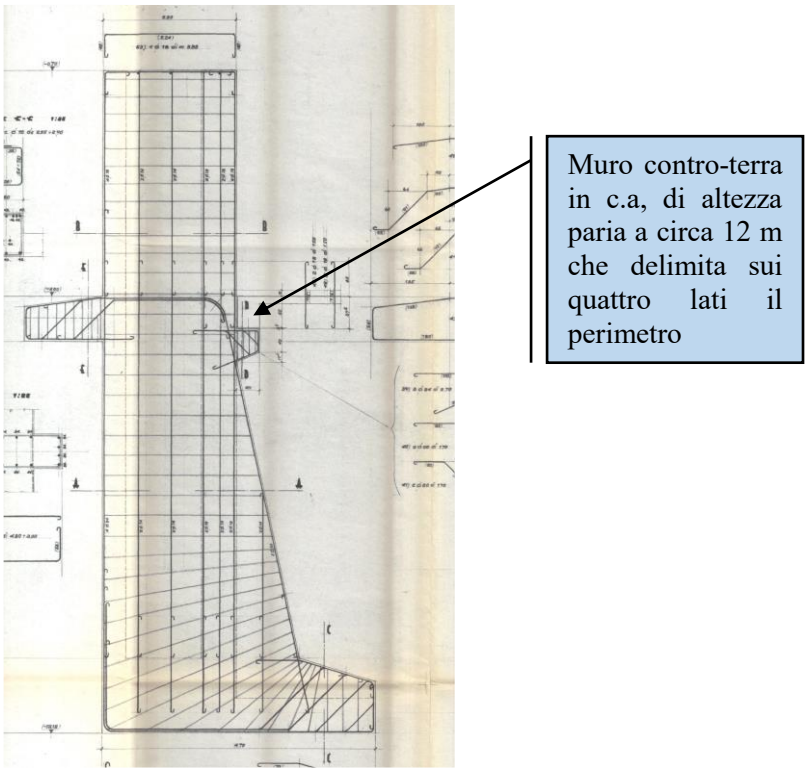


Immagine del cantiere, in cui sono visibili anche le fondazioni

3.4 Blocco unico delle fondazioni

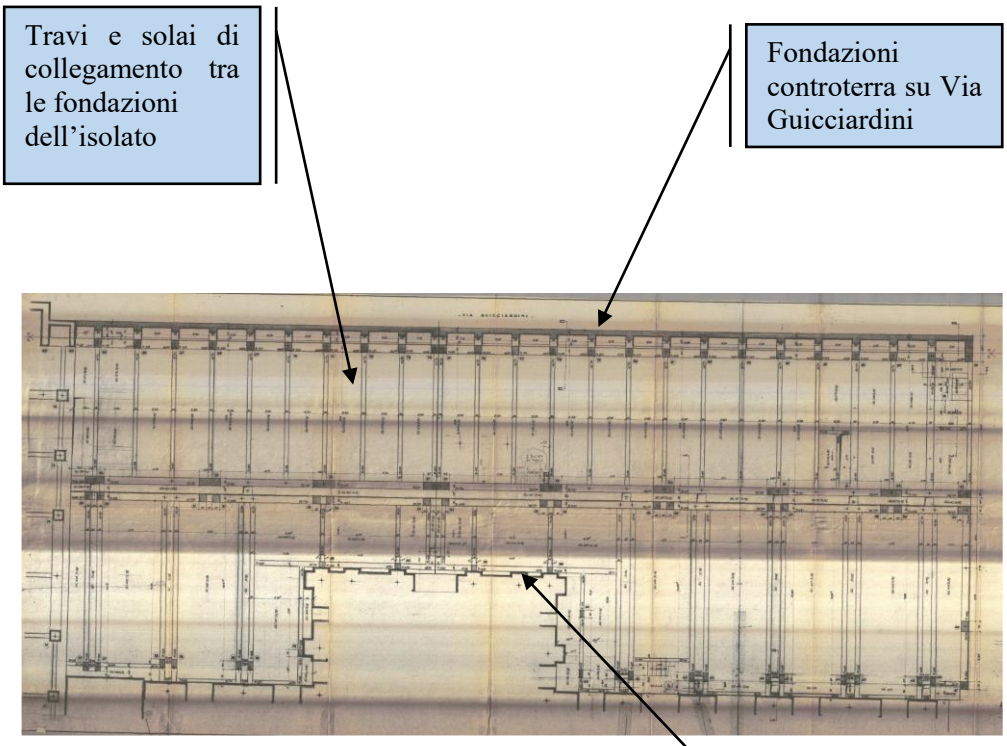
Come anticipato, il grattacielo è circondato da altri edifici bassi in acciaio, che insieme compongono l'intero isolato. Esaminando gli elaborati di progetto, le fondazioni di tutti gli edifici paiono essere un blocco unico. Si riportano di seguito alcune considerazioni che hanno portato a questa ipotesi:

- il perimetro esterno dell'isolato è delimitato da muri nervati contro-terra in cemento armato, posizionati a quota -12,15 m (vedasi ad esempio l'elaborato *TAV_6225_S.31* che riporta il dettaglio dei muri contro-terra);



Dettaglio TAV_6225_S.31

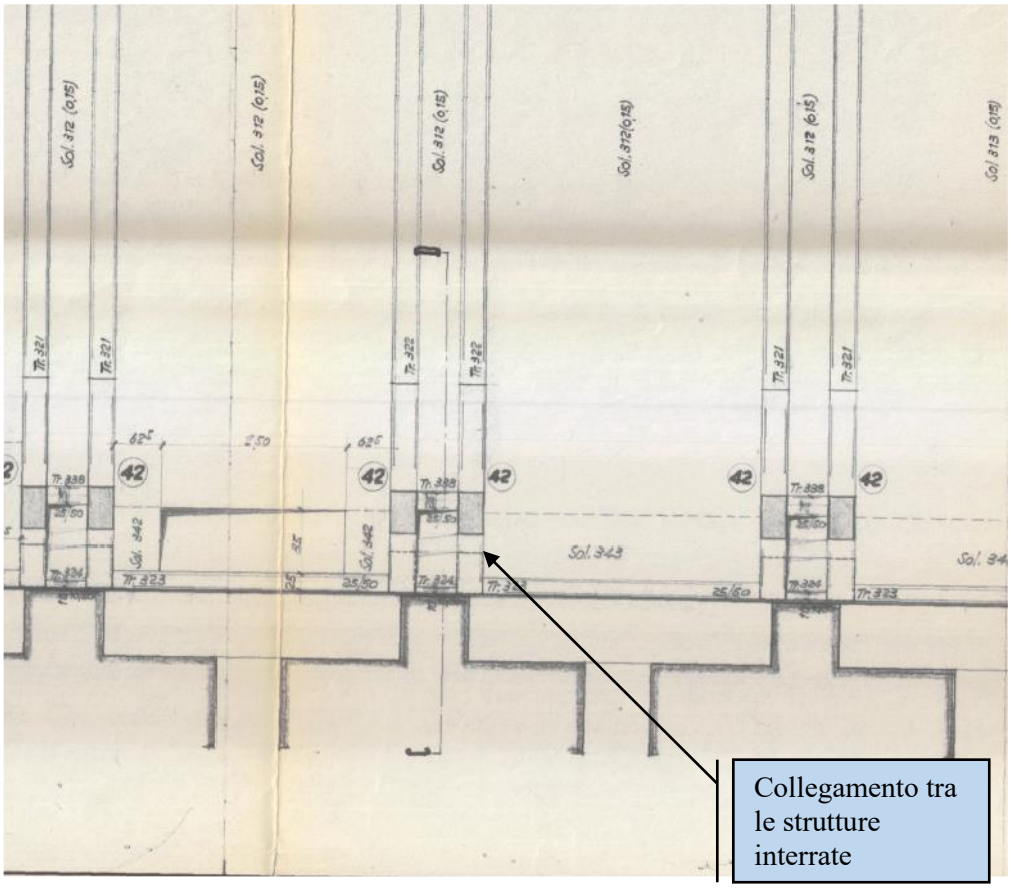
- le fondazioni del grattacielo sono posizionate internamente a questo blocco di muri contro-terra e rimangono collegate ad esse attraverso travi in c.a. che appoggiano sia sul muro nervato che sulle fondazioni del grattacielo: di conseguenza risulta esserci un'interazione tra le varie fondazioni, senza lasciare isolate quelle del grattacielo (si veda ad esempio l'elaborato *TAV_6225_a_15* che riporta le travi in c.a. che collegano il blocco fondazioni controterra su Via Guicciardini e le fondazioni del grattacielo).



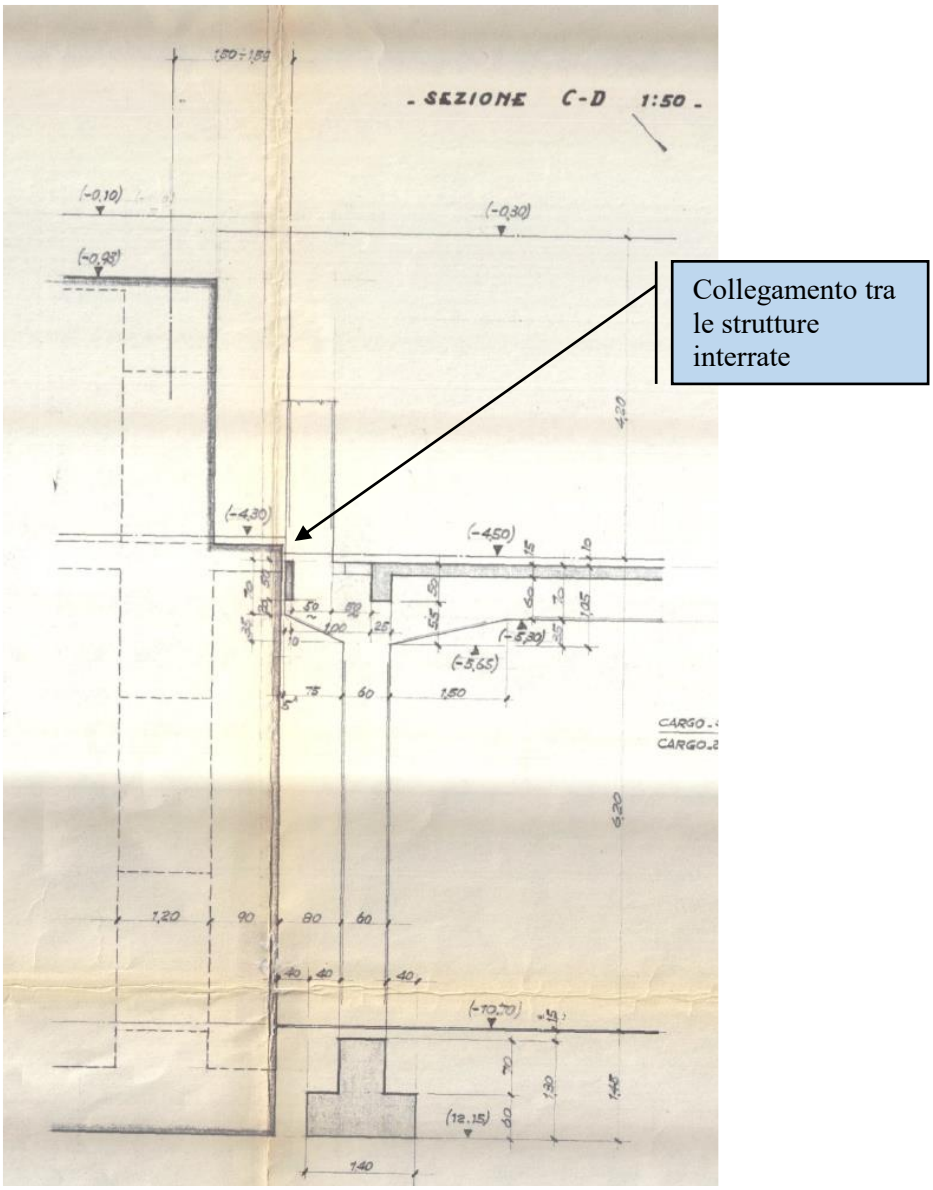
Dettaglio TAV_6225_a_15

Si riportano di seguito alcuni dettagli degli appoggi delle travi in c.a. che collegano tra loro le fondazioni dei diversi edifici e uniscono gli interrati ai muri contro-terra:

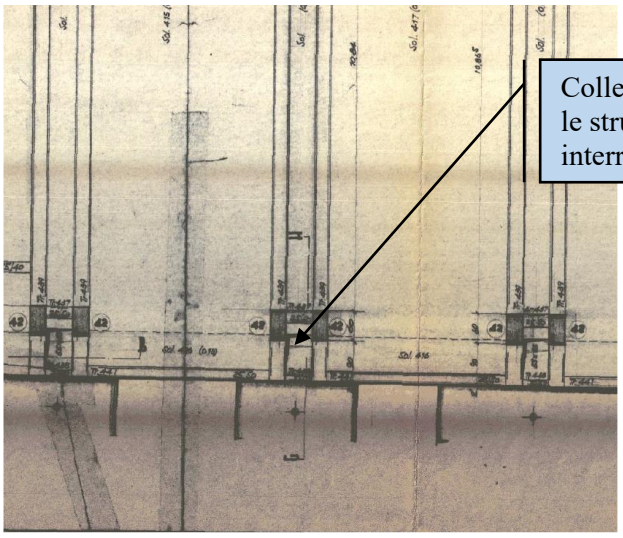
LATO VIA GUICCIARDINI



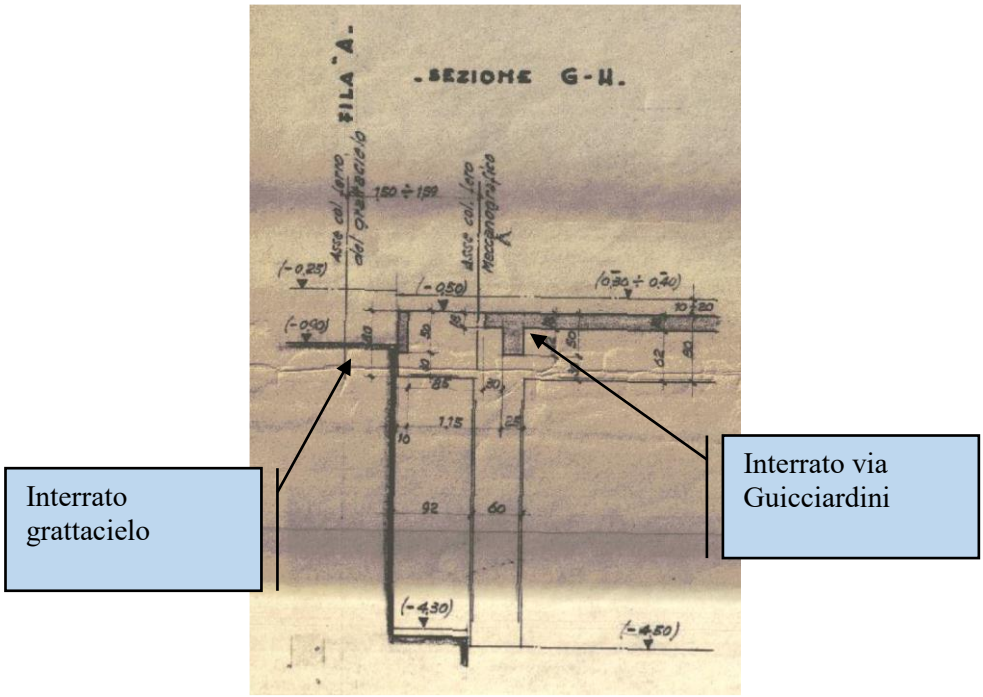
TAV_6225_14 - Pianta



TAV_6225_14 - Sezione C-D



TAV_6225_a_15 Pianta

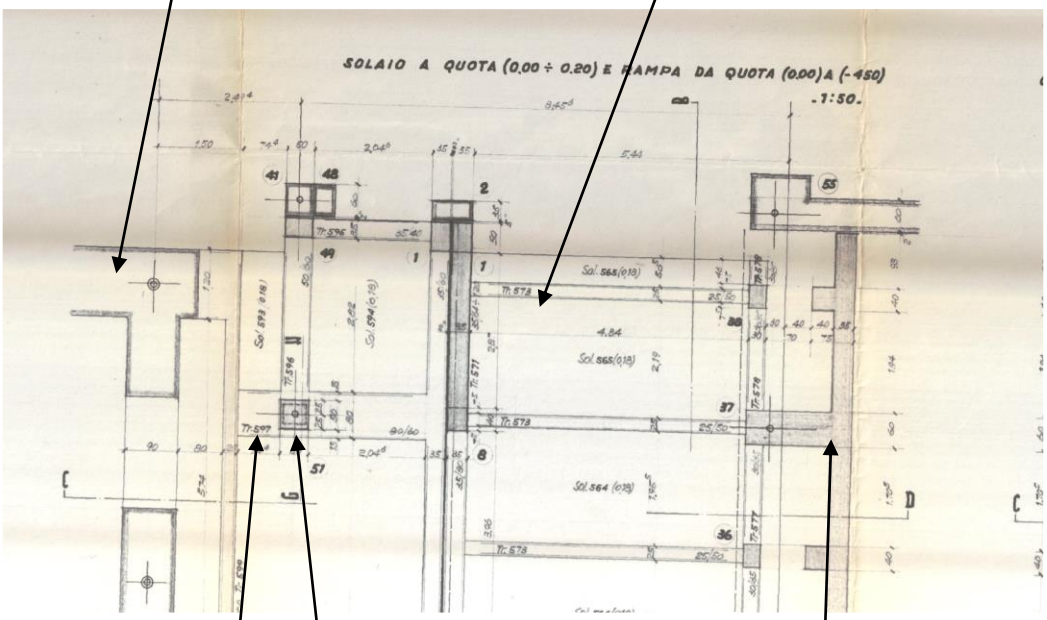


TAV_6225_a_15 – Sezione G-H

LATO VIA RUFFINI

Interrato via grattacielo

Interrato via Ruffini



TAV_6225_19 - Pianta

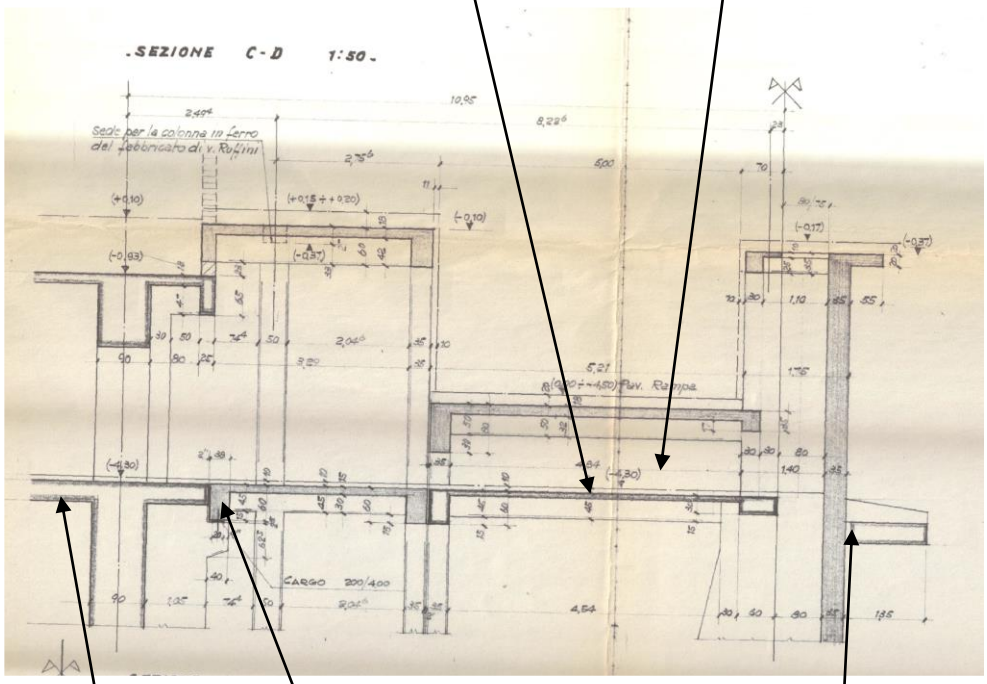
Interazione tra le strutture di fondazione

Collegamento tra le fondazioni e il muro contro-terra.

Presenza di colonne nella fondazione di via Ruffini in prossimità del basamento del grattacielo.

Collegamento tra le fondazioni e il muro contro-terra.

Interrato via Ruffini



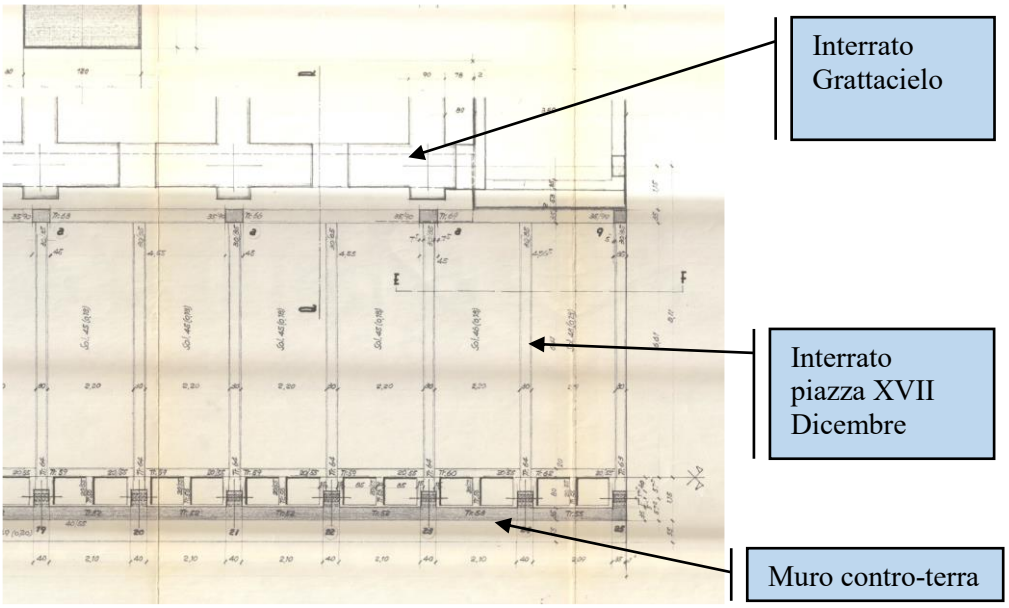
TAV_6225_19 - Sezione C-D

Interazione tra le strutture di fondazione

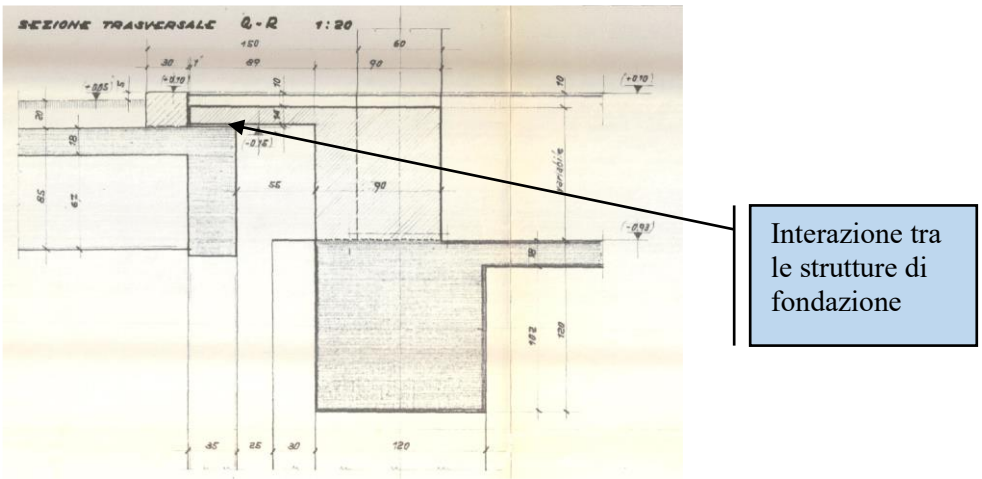
Interrato Grattacielo

Muro contro-terra

LATO PIAZZA XVIII DICEMBRE



TAV_6225_7° - Pianta

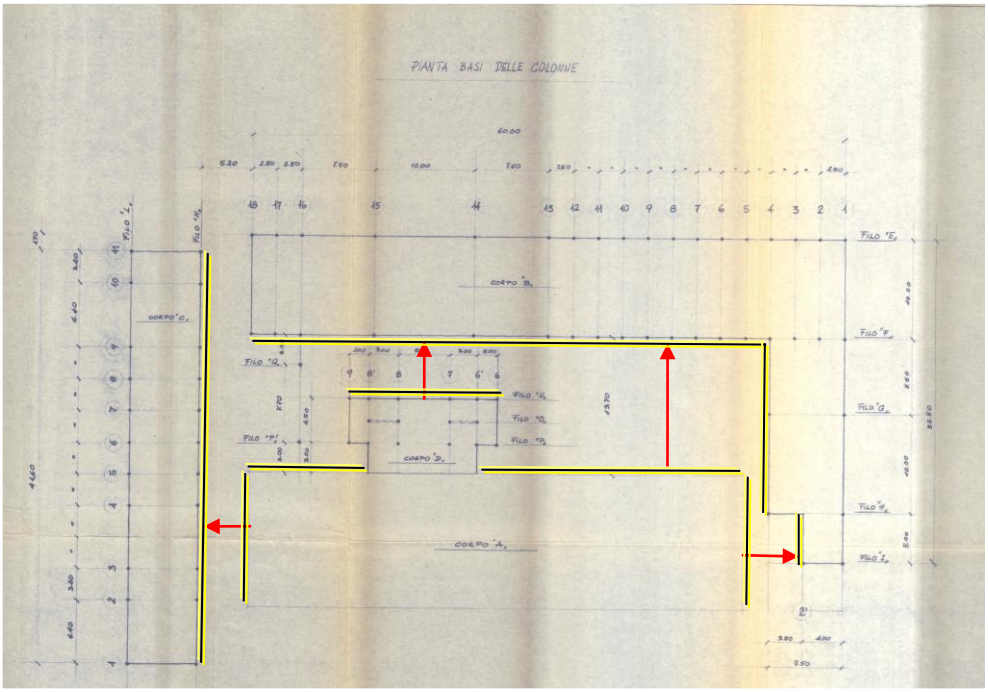


TAV_6225_7a - Sezione Q-R

Osservando quindi gli elaborati progettuali, si può ipotizzare che, essendoci un collegamento tra le diverse fondazioni, il comportamento nei confronti delle azioni orizzontali dovute al sisma sia quello di un unico blocco monolitico.
Inoltre, visto che le fondazioni di tutti gli edifici sono collegate ai muri contro-terra, si è ipotizzato che, in presenza di sisma, l'intero blocco delle fondazioni si muova in maniera solidale al terreno circostante.
Per quanto riguarda le azioni statiche, sulla base dei vincoli osservati, non si evidenzia al momento la necessità di considerarne l'interazione.
Resta quindi da indagare se effettivamente i collegamenti sopracitati siano in linea con quanto ipotizzato.

3.5 Interazione tra le strutture in elevazione

Come riportato nei primi paragrafi, l'isolato si compone di differenti strutture, ma mentre per le strutture in fondazioni si è ipotizzato il comportamento monolitico, per le strutture in elevazione, esaminando gli elaborati di progetto disponibili, non è stata raggiunta la stessa conclusione.
Osservando la pianta delle colonne in acciaio delle parti in elevazione, si osserva che esse sono posizionate lontane le une dalle altre e non presentano parti in comune. È quindi plausibile pensare che siano stati concepiti come edifici separati e che quindi i corpi bassi in acciaio non influiscano sul comportamento dell'edifico alto.
Un altro aspetto che può portare ad escludere un eventuale martellamento tra le parti in elevazione è legato all'altezza dei vari edifici: i corpi circostanti presentano un'altezza nettamente inferiore rispetto all'edificio alto, quindi si può pensare di escludere una rilevante influenza del martellamento tra i vari corpi.



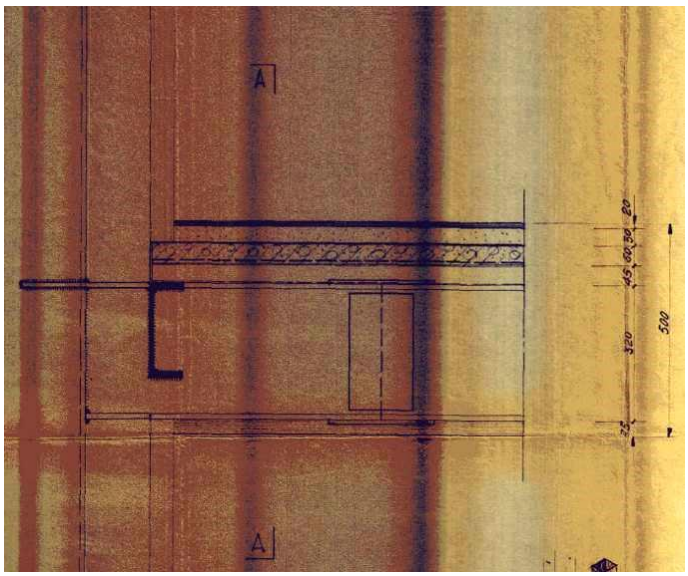
Dettaglio TAV_6225_3_b

3.6 Piano rigido

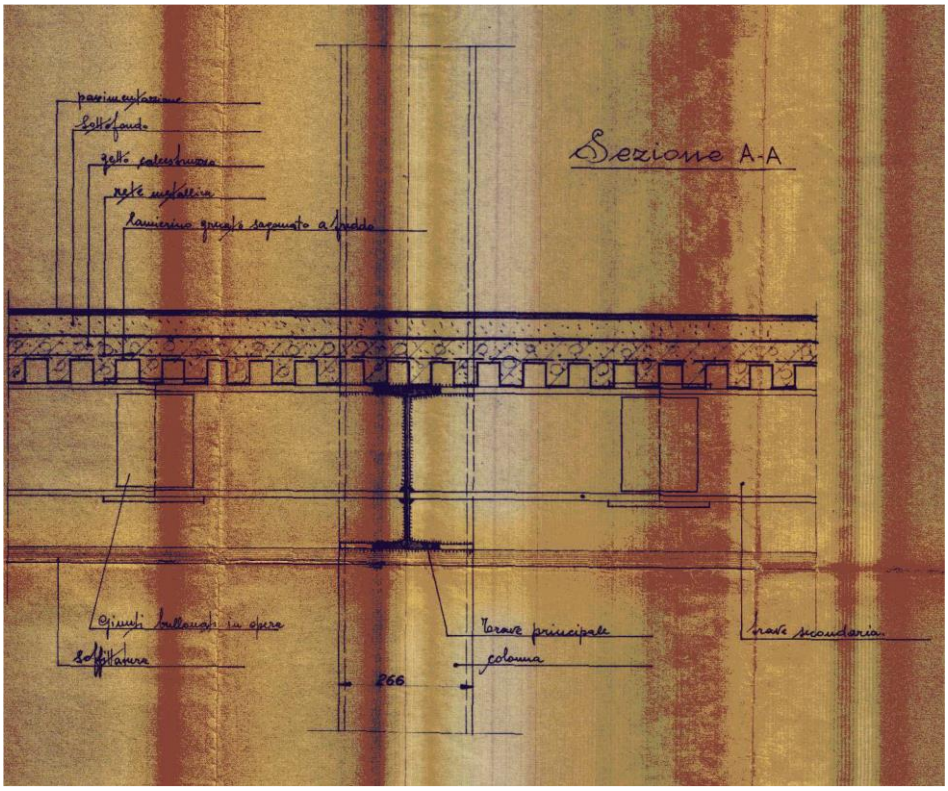
Un altro aspetto molto importante da valutare per determinare il comportamento della struttura riguarda la valutazione degli orizzontamenti.
Si riporta di seguito un estratto delle Norme Tecniche per le Costruzioni, par. 7.2.6, in cui si trattano i requisiti per il piano rigido:

"A meno di specifiche valutazione e purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidezza, gli orizzontamenti piani possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano medio a condizione che siano realizzati in calcestruzzo armato, oppure in latero-cemento con soletta in calcestruzzo armato di almeno 40 mm di spessore, o in struttura mista con soletta calcestruzzo armato di almeno 50 mm di spessore collegata agli elementi strutturali in acciaio o in legno da connettori opportunamente dimensionati."

Il grattacielo presenta una struttura portante in carpenteria metallica, con travi principali e secondarie e pilastri in acciaio. I piani sono completati con una soletta armata gettata in opera su lamiera grecata (sp. 45+50 mm) di cui si riporta di seguito un dettaglio:

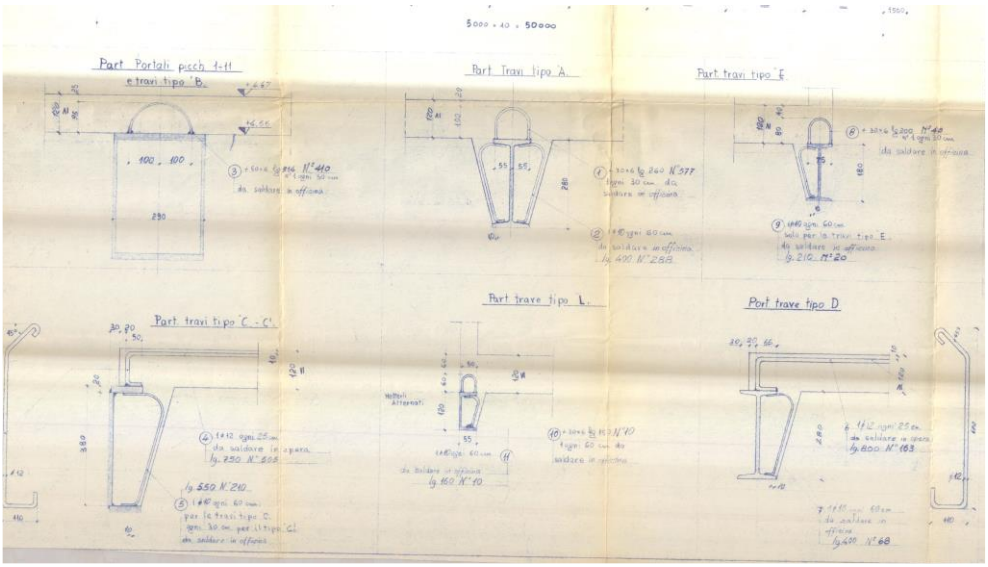


Dettaglio TAV_32692

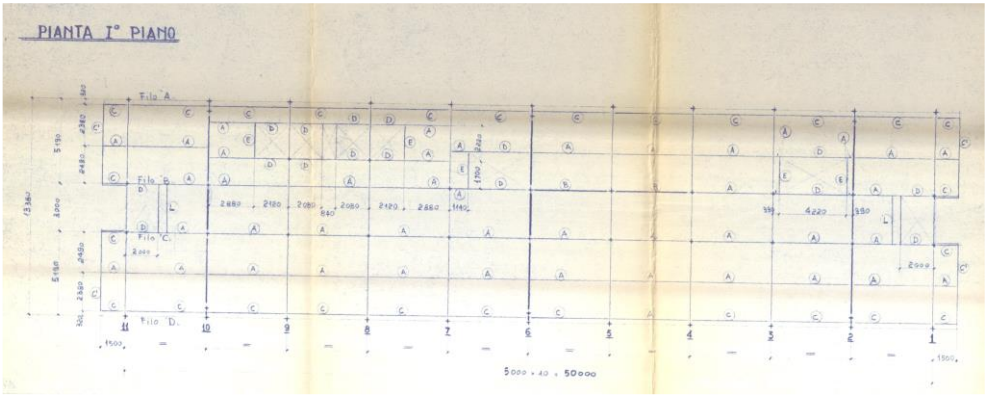


Dettaglio TAV_32692

Con riferimento al grado di connessione tra il solaio su lamiera grecata e le travi in acciaio, si riporta di seguito il dettaglio dei connettori utilizzati: si tratta di spezzoni di tondi a uncino saldati in officina alle travi secondarie ogni 30 cm. Di conseguenza, si può concludere che gli elementi di collegamento siano presenti.



TAV_35585-A

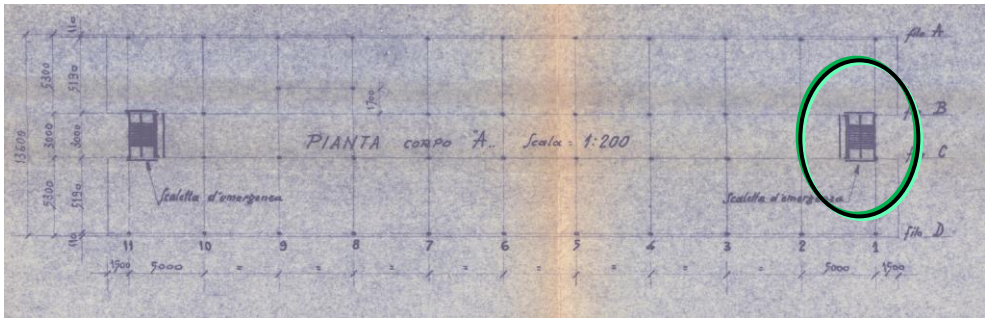


TAV_35585-A

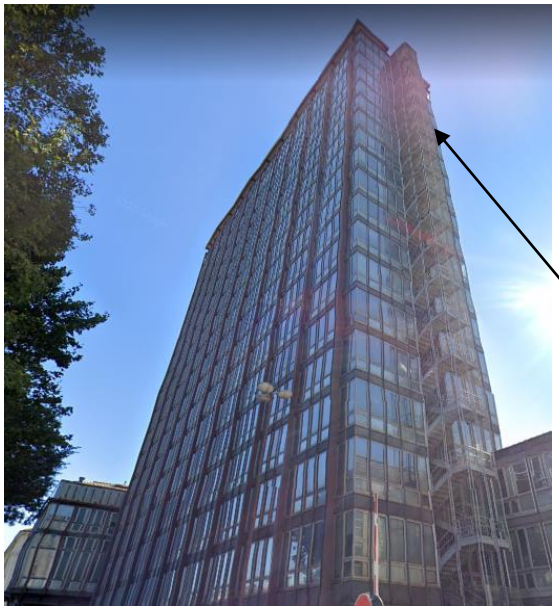
Considerando il dettaglio riportato della soletta, il solaio esistente rispetta i requisiti per essere considerato piano rigido, in quanto abbiamo un solaio misto acciaio-calcestruzzo con soletta armata su lamiera grecata.
Rimane da indagare in ogni caso l'efficienza dei connettori.
Per il momento si è comunque considerato un collegamento sufficiente a poter garantire il piano rigido ad ogni livello dell'impalcato.

3.7 Modifiche strutturali

Analizzando gli elaborati di progetto, il percorso storico della costruzione e vedendo l'edificio esternamente, non si riescono ad identificare grosse modifiche sulle strutture. L'unico elemento che a vista risulta essere differente rispetto agli elaborati di progetto è la scala di emergenza verso via Ruffini, che a progetto era prevista posizionata internamento al perimetro dell'edificio, mentre in opera risulta essere girata di 90° e posizionata esternamente.
Si riporta di seguito un dettaglio estratto dagli elaborati e una foto dell'edificio.



TAV_33674-b

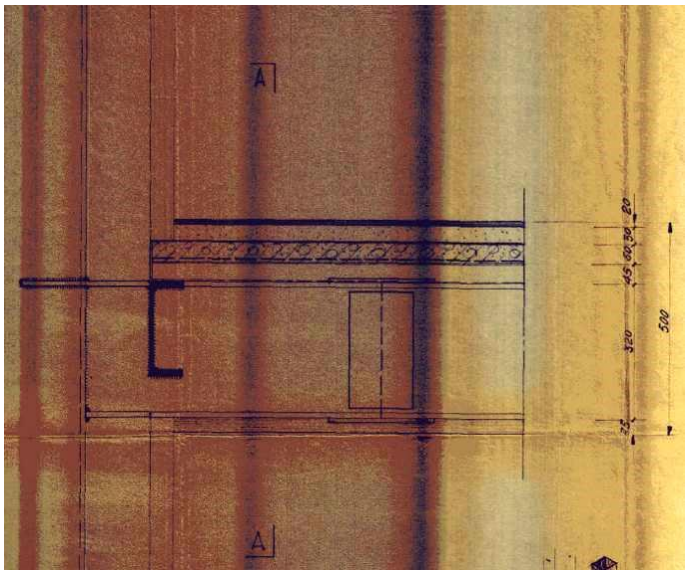


Scala d'emergenza con rampa ruotata rispetto a quella da disegno e posizionata esternamente al perimetro dell'edificio

Si evidenzia la necessità di svolgere ulteriori approfondimenti in sito.

3.8 Carichi dei solai

Considerando che sugli elaborati di progetto viene riportata la stratigrafia del solaio, è stato possibile effettuare l'analisi dei carichi permanenti, che viene di seguito riportata:



TAV_32692

Tipo		Spessore	Carico
Perm.	Soletta in c.a. su lamiera grecata	sp. 50 mm pieni e 45 mm tra le greche	25*(0,05+0,045/2) = 1,81 kN/m^2 arrot. a 2 kN/m^2
Perm.	Sottofondo + Pavimentazione	sp. 30 mm + 20 mm	25*(0,05)=1,25 kN/m^2
Perm.	Impianti + pareti divisorie		Assunti 1,25 kN/m^2

Capitolo 4

Descrizione degli elementi strutturali

4.1 Tipologia di struttura

Il fabbricato presenta una pianta rettangolare di dimensioni 50 m x 13.6 m composta da 11 file di colonne sul lato lungo e 4 sul lato corto, come riportato nell'immagine sottostante.
In prossimità della facciata sud-est dello stabile è presente un corpo scale collegato alla costruzione principale.

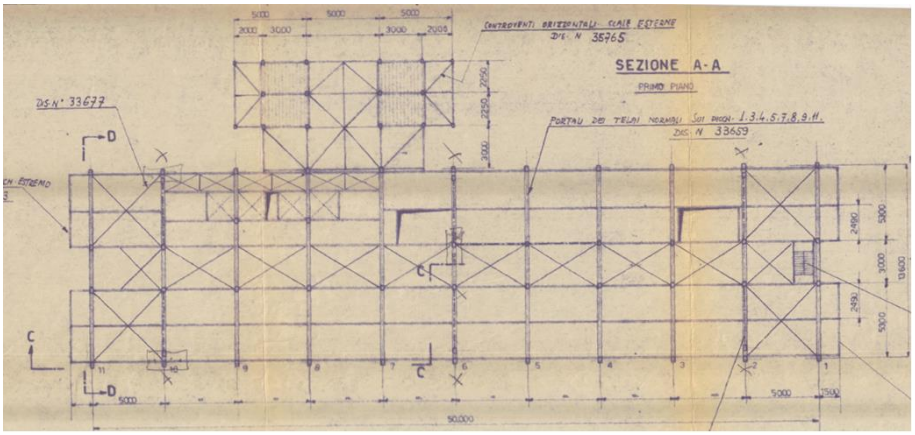


Immagine estratta da Tav-35958

L'edificio ha un'altezza fuori terra di 71.426 m, suddivisa in 18 piani più una pensilina in sommità, e di 12.15 m di interrati.
La porzione in elevazione presenta una struttura portante in acciaio, mentre la fondazione è costituita da cemento armato.

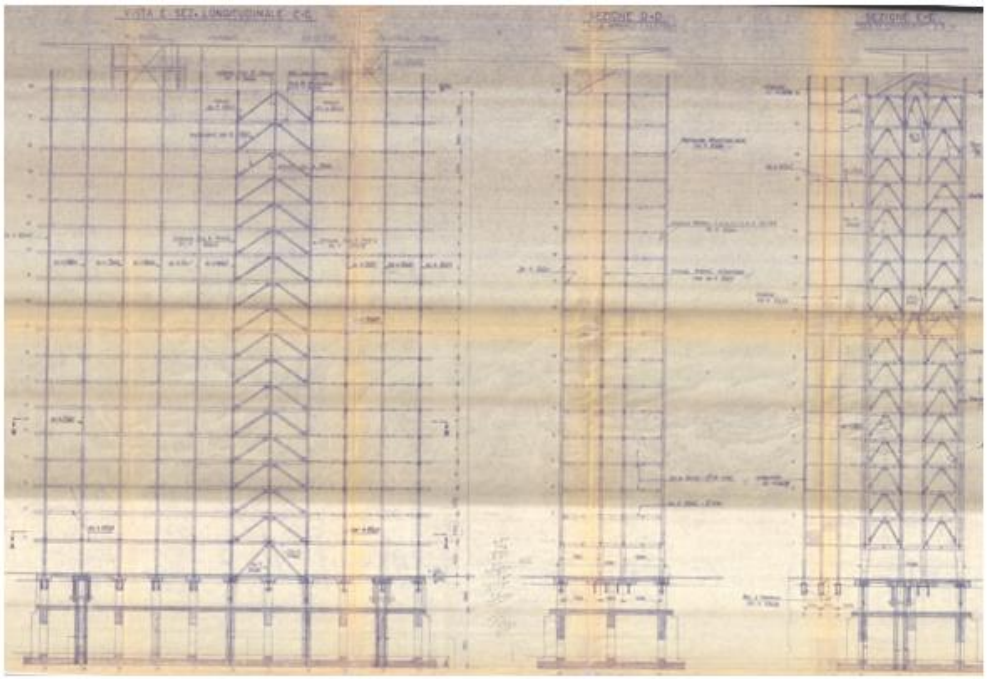


Immagine estratta da Tav-35958

Si riportano in forma tabellare le quote dei diversi livelli che saranno poi richiamate nella trattazione del capitolo per localizzare gli elementi strutturali.

PIANO	**QUOTE**
PENSILINA	da + 68.110 m a + 71.310 m
PIANO macchinari	da + 65.310 m a + 68.110 m
18° PIANO fuori terra	da + 61.310 m a + 65.310 m
17° PIANO fuori terra	da + 57.310 m a + 61.310 m
16° PIANO fuori terra	da + 53.810 m a + 57.310 m
15° PIANO fuori terra	da + 50.310 m a + 53.810 m
14° PIANO fuori terra	da + 46.810 m a + 50.310 m
13° PIANO fuori terra	da + 43.310 m a + 46.810 m
12° PIANO fuori terra	da + 39.810 m a + 43.310 m
11° PIANO fuori terra	da + 36.310 m a + 39.810 m
10° PIANO fuori terra	da + 32.810 m a + 36.310 m
9° PIANO fuori terra	da + 29.310 m a + 32.810 m
8° PIANO fuori terra	da + 25.810 m a + 29.310 m
7° PIANO fuori terra	da + 22.310 m a + 25.810 m
6° PIANO fuori terra	da + 18.810 m a + 22.310 m
5° PIANO fuori terra	da + 15.310 m a + 18.810 m
4° PIANO fuori terra	da + 11.810 m a + 15.310 m
3° PIANO fuori terra	da + 8.310 m a + 11.810 m
2° PIANO fuori terra	da + 4.550 m a + 8.310 m
1° PIANO fuori terra	da – 0.9 m a + 4.550 m
– 0.90 m QUOTA 0 SISMICO	
1° PIANO interrato	da – 4.40 m a – 0.90 m
2° PIANO interrato	da – 11.30 m a – 4.40 m
Quota imposta fondazione	–12.15 m

4.1.1 Corpo principale: struttura in elevazione

All'interno degli elaborati originali, le posizioni degli elementi strutturali vengono identificate attraverso l'intersezione tra i fili A, B, C, D e i picchetti da 1 a 11.

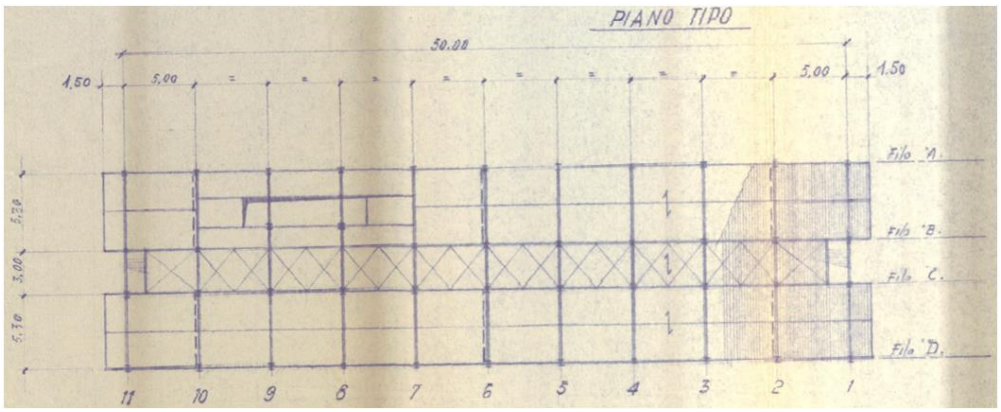


Immagine estratta da Tav-31627

L'edificio presenta un'orditura sufficientemente regolare sia in pianta che in elevazione. Le zone particolari saranno meglio descritte all'interno delle successive sezioni dedicate alla definizione di tutti gli elementi che compongono il fabbricato.

Una prima definizione complessiva dello schema statico della struttura viene esplicitata all'interno della tavola sopra citata e illustra 2 tipologie fondamentali di telai:

- Telai picchetti 2 – 6 – 10: presentano alla base (piano 1) un portale completamente incastrato e dal piano 2 al piano 18 colonne con elementi di controvento;

- Telai picchetti 1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11: presentano alla base (piano 1) un portale completamente incastrato e dal paino 2 al piano 18 colonne esterne incastrate (picchetti A e D) e colonne interne svincolate per renderle bielle (filo B e C).

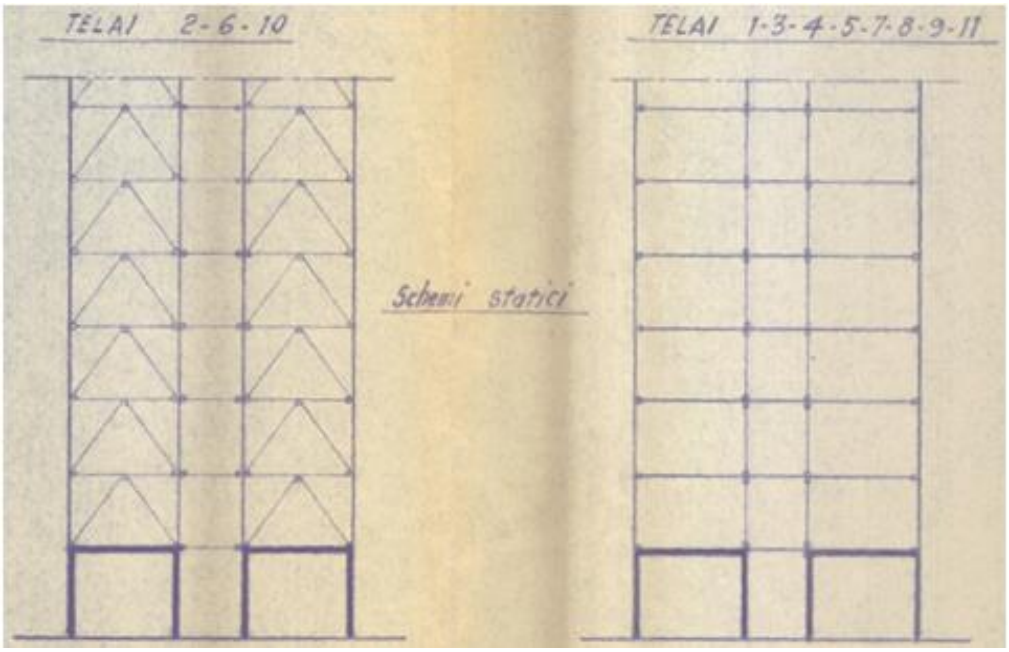


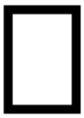
Immagine estratta da Tav-31627

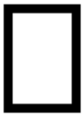
All'interno della documentazione non è stato possibile identificare la qualità di acciaio utilizzata per le strutture in carpenteria.
Si è ipotizzato l'impiego si Fe360 equivalente ad un S235.
Senza dubbio questa informazione sarebbe di fondamentale importanza perché potrebbe alterare, in positivo o in negativo, tutta la risposta della struttura.

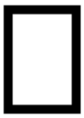
4.1.1.1 Portali dei telai di controvento

Queste strutture sono composte da 3 elementi principali: colonne esterne, colonne interne e travi.

ELEMENTO:	**COLONNE ESTERNE**	**TAV.33658**
QUOTA:	da – 0.9 m a + 4.550 m	
FILI:	A – D	
PICCHETTI:	2 – 6 – 10	
SEZIONE:	Rettangolare variabile. Dimensione alla base: 290 mm (sp.30 mm) x 600 mm (sp.24 mm) Dimensione in sommità: 290 mm (sp.30 mm) x 1020 mm (sp.24 mm).	
VINCOLO ALLA BASE: **TAV.33657** **TAV.35058**	Queste colonne presentano alla base una struttura (elemento a forma di piastra composta da diversi profili in acciaio) per l'ancoraggio alla fondazione sotterranea in C.A. mediante l'applicazione della precompressione.	

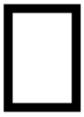
ELEMENTO:	**COLONNE INTERNE (escluso filo B picchetto 6)**	**TAV.33658**
QUOTA:	da – 0.9 m a + 4.550 m	
FILI:	B – C	
PICCHETTI:	2 – 6 – 10	
SEZIONE:	Rettangolare  Dimensione 290 mm (sp.40 mm) x 600 mm (sp.30 mm)	
VINCOLO ALLA BASE: **TAV.33657**	L'ancoraggio alla sottostruttura è garantito dai tirafondi collegati alle piastre nervate saldate alla base delle colonne.	

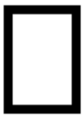
ELEMENTO:	**COLONNA INTERNA (filo B picchetto 6)**	**TAV.33658**
QUOTA:	da – 0.9 m a + 4.550 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	6	
SEZIONE:	Rettangolare  Dimensione 290 mm (sp.40 mm) x 600 mm (sp.30 mm)	
VINCOLO ALLA BASE:	Questa colonna presenta alla base una struttura (elemento a forma di piastra composta da diversi profili in acciaio) per l'ancoraggio alla fondazione sotterranea in C.A. mediante l'applicazione della precompressione.	

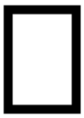
ELEMENTO:	**TRAVI PORTALE**	**TAV.33658**
QUOTA:	+ 4.550 m	
FILI:	A ÷ D	
PICCHETTI:	2 – 6 – 10	
SEZIONE:	Rettangolare	
	Dimensione 290 mm (sp.25 mm) x 450 mm (sp.14 mm)	

4.1.1.2 Portali dei telai normali

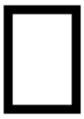
Come i precedenti sono composti da 3 elementi principali: colonne esterne, colonne interne e travi.

ELEMENTO:	**COLONNE ESTERNE**	**TAV.33659**
QUOTA:	da – 0.9 m a + 4.550 m	
FILI:	A – D	
PICCHETTI:	1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11	
SEZIONE:	Rettangolare	
	Dimensione 290 mm (sp.25 mm) x 600 mm (sp.14 mm)	
VINCOLO ALLA BASE:	L'ancoraggio alla sottostruttura è garantito dai tirafondi collegati alle piastre nervate saldate alla base delle colonne.	
TAV.33657		

ELEMENTO:	**COLONNE INTERNE (escluso filo B picchetto 4)**	**TAV.33659**
QUOTA:	da – 0.9 m a + 4.550 m	
FILI:	B – C	
PICCHETTI:	1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11	
SEZIONE:	Rettangolare	
	Dimensione 290 mm (sp.40 mm) x 600 mm (sp.30 mm)	
VINCOLO ALLA BASE: **TAV.33657**	L'ancoraggio alla sottostruttura è garantito dai tirafondi collegati alle piastre nervate saldate alla base delle colonne.	

ELEMENTO:	**COLONNA INTERNA (filo B picchetto 4)**	**TAV.33659**
QUOTA:	da – 0.9 m a + 4.550 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	4	
SEZIONE:	Rettangolare	
	Dimensione 290 mm (sp.40 mm) x 600 mm (sp.30 mm)	
VINCOLO ALLA BASE: **TAV.33657** **TAV.35058**	Questa colonna presenta alla base una struttura (elemento a forma di piastra composta da diversi profili in acciaio) per l'ancoraggio alla fondazione sotterranea in C.A. mediante l'applicazione della precompressione.	

ELEMENTO:	**TRAVI PORTALE**	**TAV.33658**
QUOTA:	+ 4.550 m	
FILI:	A ÷ D	
PICCHETTI:	1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11	
SEZIONE:	Rettangolare	

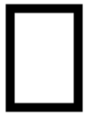
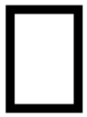


Dimensione 290 mm (sp.20 mm) x 450 mm (sp.12 mm)

Da qui in poi saranno analizzati tutti gli elementi che compongono la struttura indicando le variazioni che si hanno lungo lo sviluppo in altezza del fabbricato.

4.1.1.3 Colonne controventate

Queste colonne sono realizzate mediante l'affiancamento di 2 pilastri posti a distanza di 280 mm (distanza fili interni).

ELEMENTO:	**COLONNE CONTROVENTATE ESTERNE**	**TAV.33661**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	A – D	
PICCHETTI:	2 – 6 – 10	
SEZIONE: Rettangolare (2 profili)	Dimensione 266 mm x 380 mm (sp.18 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
	Dimensione 252 mm x 360 mm (sp.12 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.10 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione 224 mm x 320 mm (sp.8 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione 210 mm x 300 mm (sp.6 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.6 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

4.1.1.4 Colonne controventate centrali

ELEMENTO:	**COLONNE CONTROVENTATE INTERNE (escluso filo B picch. 6)**	**TAV.33667**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	B – C	
PICCHETTI:	2 – 6 – 10	

SEZIONE: Rettangolare	Dimensione B = 266 mm (sp.20 mm) H = 380 mm (sp.15 mm)	da + 4.550 m a + 8.310 m (2° piano)
	Dimensione (filo B picch. 2) B = 296 mm (sp.30 mm) H = 380 mm (sp.15 mm)	da + 4.550 m a + 8.310 m (2° piano)
	Dimensione 266 mm x 380 mm (sp.16 mm)	da + 8.310 m a + 15.310 m (3° ÷ 4° piano)
	Dimensione 252 mm x 360 mm (sp.22 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.28 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione 224 mm x 320 mm (sp.12 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione 210 mm x 300 mm (sp.10 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)

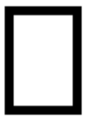
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.8 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

ELEMENTO: COLONNE CONTROVENTATE INTERNE (filo B picch. 6) **TAV.33667**

QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	6	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 266 mm x 380 mm (sp.34 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2°÷ 4° piano)
	Dimensione 252 mm x 360 mm (sp.30 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.24 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione 224 mm x 320 mm (sp.18 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione 210 mm x 300 mm (sp.12 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.2 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

4.1.1.5 Colonne normali esterne

ELEMENTO:	**COLONNE NORMALI**	**TAV.33660**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	A – D	
PICCHETTI:	1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11	

SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 266 mm x 380 mm (sp.16 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
		
	Rettangolare Dimensione 252 mm x 360 mm (sp.14 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.14 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione 224 mm x 320 mm (sp.12 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione 210 mm x 300 mm (sp.10 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.10 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

4.1.1.6 Colonne normali centrali

ELEMENTO:	**COLONNE NORMALI (escluse filo B picch. 3 – 4 – 5 – 8 – 9)**	**TAV.33671**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	B – C	
PICCHETTI:	1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11	

SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 266 mm x 380 mm (sp.12 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
	Dimensione 252 mm x 360 mm (sp.10 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.10 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione 224 mm x 320 mm (sp.8 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione 210 mm x 300 mm (sp.6 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.6 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

Le colonne di seguito elencate presentano come profilo di base il medesimo degli elementi appena descritti ma su di esse sono state saldate delle piastre di rinforzo lungo i lati maggiori.

ELEMENTO:	**COLONNE NORMALI (filo B picch. 3)**	**TAV.33671**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	3	
SEZIONE: Rettangolare (considerando anche i piatti di rinforzo)	Dimensione B =286 mm (sp.12 mm) H = 380 mm (sp.22 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
	Dimensione B = 272 mm (sp.10 mm) H = 360 mm (sp.20 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione B = 252 mm (sp.10 mm) H = 340 mm (sp.17 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione B =238 mm (sp.8 mm) H = 320 mm (sp.15 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione B = 224 mm (sp.6 mm) H = 300 mm (sp.13 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione B = 210 mm (sp.6 mm) H = 280 mm (sp.13 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

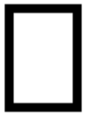
Queste colonne, rispetto a tutte le altre appartenenti al filo B, risultano traslate di 1.7 m verso il filo A

ELEMENTO:	**COLONNE NORMALI (filo B picch. 8 – 9)**	**TAV.33671**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	8 – 9	
SEZIONE: Rettangolare (considerando anche i piatti di rinforzo)	Dimensione B = 290 mm (sp.12 mm) H = 380 mm (sp.24 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
	Dimensione B = 280 mm (sp.10 mm) H = 360 mm (sp.24 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione B = 254 mm (sp.10 mm) H = 340 mm (sp.18 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione B = 240 mm (sp.8 mm) H = 320 mm (sp.16 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione B =226 mm (sp.6 mm) H = 300 mm (sp.14 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione B = 210 mm (sp.6 mm) H = 280 mm (sp.13 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

La colonna descritta di seguito è posta sul lato destro della controventatura verticale longitudinale, visibile nell'immagine riportata a inizio capitolo estratta dalla Tav. 35958.

ELEMENTO:	**COLONNE NORMALI (filo B picch. 4)**	**TAV.33672**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	4	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 266 mm x 380 mm (sp.34 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
	Dimensione 252 mm x 360 mm (sp.30 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.24 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione 224 mm x 320 mm (sp.18 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione 210 mm x 300 mm (sp.12 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.10 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

A differenza della precedente questo pilastro è posto al centro della controventatura verticale longitudinale, visibile nell'immagine riportata a inizio capitolo estratta dalla Tav. 35958.

ELEMENTO:	**COLONNA NORMALE (filo B picch. 5)**	**TAV.33666**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	5	
SEZIONE: Rettangolare 	Dimensione 266 mm x 380 mm (sp.12 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
	Dimensione 252 mm x 360 mm (sp.10 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.10 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione 224 mm x 320 mm (sp.8 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	Dimensione 210 mm x 300 mm (sp.6 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.6 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

4.1.1.7 Travi principali

ELEMENTO:	**TRAVI PRINCIPALI** **TRA COLONNE CONTROVENTATE**	**TAV.33661**
QUOTA:	da + 8.310 m a + 65.310 m	
FILI:	A ÷ D	
PICCHETTI:	2 – 6 – 10	
SEZIONE:	INP 400	+ 8.310 m (2° piano)
	INP 360	da + 11.810 m a + 29.310 m (3° ÷ 8° piano)
	 h = 440 mm b = 180 mm spessore anima = 15 mm spessore ali = 30 mm	+ 32.810 m (9° piano)
	 h = 920 mm b = 180 mm spessore anima = 30 mm spessore ali = 40 mm	+ 36.310 m (10° piano)
	INP 320	da + 39.810 m a + 65.310 m (11° ÷ 18° piano)

ELEMENTO:	**TRAVI PRINCIPALI TRA COLONNE NORMALI (2° piano)**	**TAV.33665**
QUOTA:	da + 8.310 m	
FILI:	A ÷ D	
PICCHETTI:	1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11	
SEZIONE:	INP 400	+ 8.310 m (2° piano)

ELEMENTO:	**TRAVI PRINCIPALI TRA COLONNE NORMALI (3° ÷ 18 piano)**	**TAV.33670**
QUOTA:	da + 11.810 m a + 65.310 m	
FILI:	A ÷ D	
PICCHETTI:	1 – 3 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11	
SEZIONE:	INP 320	da + 11.810 m a + 65.310 m (3° ÷ 18° piano)

4.1.1.8 Travi secondarie

Le travi secondarie sono poste, oltre che in corrispondenza dei fili, anche a distanza di 2.81 m dai fili A e D.
Tra i picchetti 7 e 10 è presente una variazione nella posizione delle travi legata al differente posizionamento delle colonne (vedi paragrafo colonne).
Gli elementi sono posti come da immagine seguente.

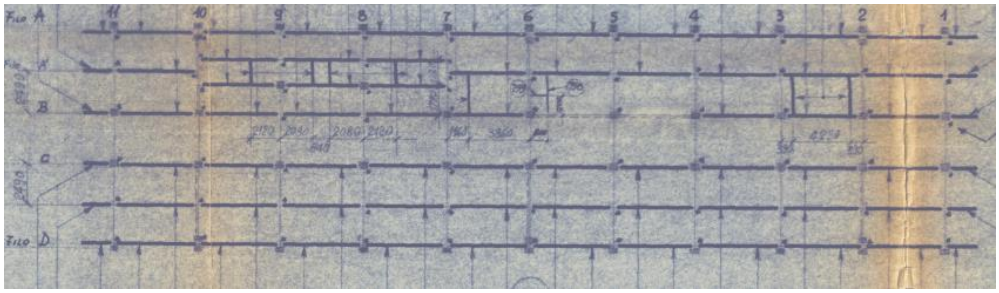


Immagine estratta da Tav-33669

ELEMENTO:	**TRAVI SECONDARIE (escluse filo B tra picch. 4 ÷ 6)**	**TAV.33669**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
SEZIONE:	INP 280	da + 4.550 m a + 8.310 m (1° ÷ 2° piano)
	INP 220	da + 11.810 m a + 65.310 m (3° ÷ 18° piano)

Queste travi sono posizionate tra i picchetti in cui è presente la controventatura verticale longitudinale, visibile nell'immagine riportata a inizio capitolo estratta dalla Tav. 35958.

ELEMENTO:	**TRAVI SECONDARIE (filo B tra picch. 4 ÷ 6)**	**TAV.33666**
QUOTA:	da + 4.580 m a + 65.310 m	
SEZIONE:	H = 430 mm B = 350 mm spessore anima = 12 mm spessore ali = 15 mm	da + 4.550 m a + 8.310 m (1° ÷ 2° piano)
	H = 430 mm B = 320 mm spessore anima = 12 mm spessore ali = 15 mm	da + 11.810 m a + 25.810 m (3° ÷ 7° piano)
	H = 430 mm B = 300 mm spessore anima = 12 mm spessore ali = 15 mm	da + 29.310 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	H = 424 mm B = 300 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 12 mm	da + 39.810 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
	H = 424 mm B = 260 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 12 mm	da + 50.310 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
	H = 424 mm B = 220 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 12 mm	da + 61.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

4.1.1.9 Travi copertura esterna

Questi elementi sono posti sul perimetro dei diversi piani sia sul lato lungo che su quello corto.
Su queste travi sono stati poi collegati i serramenti che compongono le facciate dell'edificio.

ELEMENTO:	**TRAVI SECONDARIE (filo B tra picch. 4 ÷ 6)**	**TAV.33666**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
SEZIONE:	H = 400 mm B = 106 mm spessore anima = 14 mm spessore ali = 20 mm	da + 4.550 m a + 8.310 m (1° ÷ 2° piano) lato lungo
	H = 380 mm B = 106 mm spessore anima = 14 mm spessore ali = 20 mm	da + 4.550 m a + 8.310 m (1° ÷ 2° piano) lato corto
	H = 320 mm B = 106 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 16 mm	da + 11.810 m a + 65.310 m (3° ÷ 18° piano) lato lungo
	H = 320 mm B = 106 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 16 mm	da + 11.810 m a + 65.310 m (3° ÷ 18° piano) lato corto

4.1.1.10 Controventi

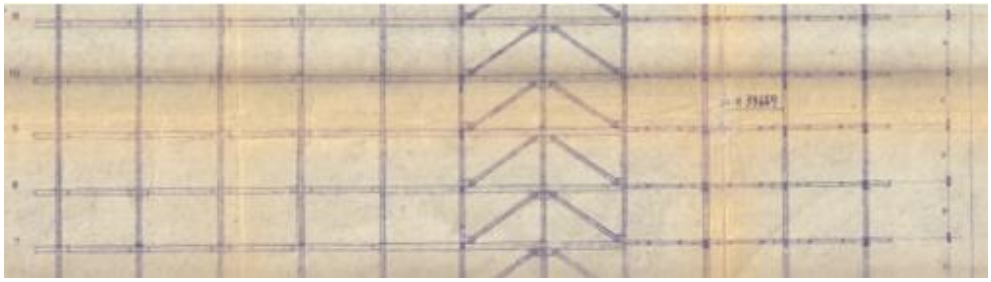
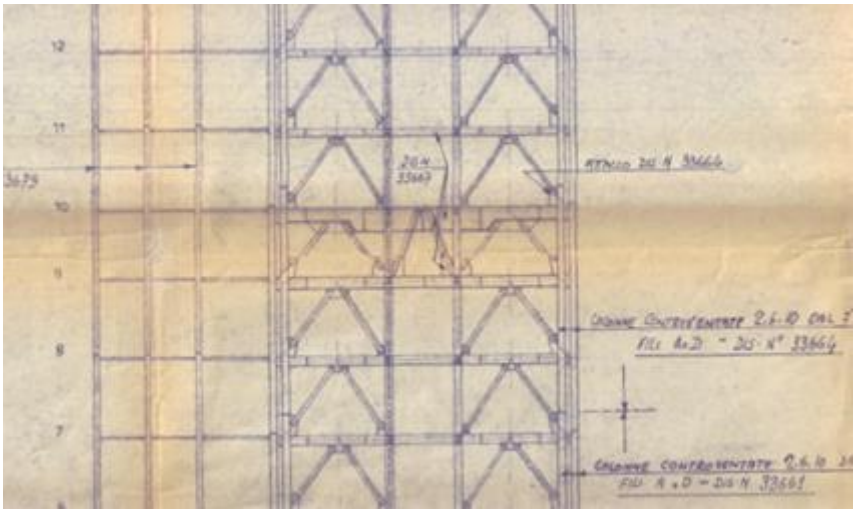


Immagine estratta da Tav-35958

ELEMENTO:	**CONTROVENTI LONGITUDINALI**	**TAV.33662**
QUOTA:	da – 0.90 m a + 65.310 m	
FILI:	B	
PICCHETTI:	4 – 5 - 6	
SEZIONE: Tubo tondo	Dimensione ø 292 mm (sp.12 mm)	da – 0.90 m a + 4.550 m (1° piano)
	Dimensione ø 292 mm (sp.10 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
	Dimensione ø 292 mm (sp.8 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
	Dimensione ø 267 mm (sp.7.5 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
	Dimensione ø 241 mm (sp.7.5 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)

Dimensione ø 241 mm (sp.6 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
Dimensione ø 216 mm (sp.5.5 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

Per quanto riguarda i controventi trasversali le tavola riportata in tabella non è presente all'interno della documentazione.
Come approssimazione si sono considerate le stesse sezioni già utilizzate per i controventi longitudinali.
Questi elementi, in caso non fosse possibile reperire in seguito il materiale, sarebbero sicuramente da indagare, per identificarne in maniera certa le geometrie, poiché influenzano considerevolmente la risposta strutturale complessiva dell'edificio nei confronti di sisma e vento.



ELEMENTO: CONTROVENTI TRASVERSALI TAV.33663

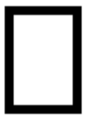
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m
FILI:	A – B – C – D
PICCHETTI:	2 – 6 – 10

SEZIONE:
Tubo tondo

Dimensione ø 292 mm (sp.10 mm)	da + 4.550 m a + 15.310 m (2° ÷ 4° piano)
Dimensione ø 292 mm (sp.8 mm)	da + 15.310 m a + 25.810 m (5° ÷ 7° piano)
Dimensione ø 267 mm (sp.7.5 mm)	da + 25.810 m a + 36.310 m (8° ÷ 10° piano)
Dimensione ø 241 mm (sp.7.5 mm)	da + 36.310 m a + 46.810 m (11° ÷ 13° piano)
Dimensione ø 241 mm (sp.6 mm)	da + 46.810 m a + 57.310 m (14° ÷ 16° piano)
Dimensione ø 216 mm (sp.5.5 mm)	da + 57.310 m a + 65.310 m (17° ÷ 18° piano)

Tra il piano 9° e il piano 10° è posto un controvento aggiuntivo tra le campate quindi tra il filo B e il filo C.
La sezione del profilo è stata ricava da alcuni elaborati in cui si potevano identificare le dimensioni ma sarebbero da verificare utilizzando la tavola dedicata.

ELEMENTO:	**CONTROVENTI TRASVERSALI**	**TAV.33663**
QUOTA:	da + 32.810 m a + 36.310 m	
FILI:	B - C	
PICCHETTI:	2 – 6 – 10	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 238 mm x 340 mm (sp.24 mm)	



4.1.1.11 Pensilina

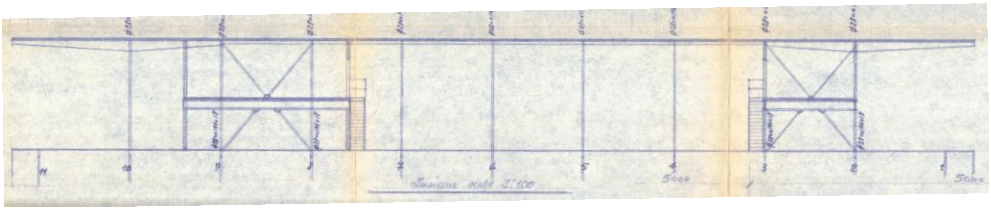
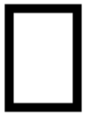


Immagine estratta da Tav-37199

Questa struttura è posta in sommità all'edificio e ricopre tutta la superficie della costruzione.
Oltra alla copertura vera e propria vi sono, in prossimità delle 2 estremità (sui lati corti), 2 piani intermedi che ospitano alcuni macchinari.
Le colonne che sorreggono la copertura sono i proseguimenti delle sole colonne poste sui fili B e C mentre le colonne più esterne sono interrotte.

ELEMENTO:	**COLONNE PENSILINA (esclusi picch. 2 – 3 – 8 – 9 – 10)**	**TAV.37199**
QUOTA:	da + 65.310 m a + 71.310 m	
FILI:	B - C	
PICCHETTI:	4 – 5 – 6 – 7	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.8 mm)	



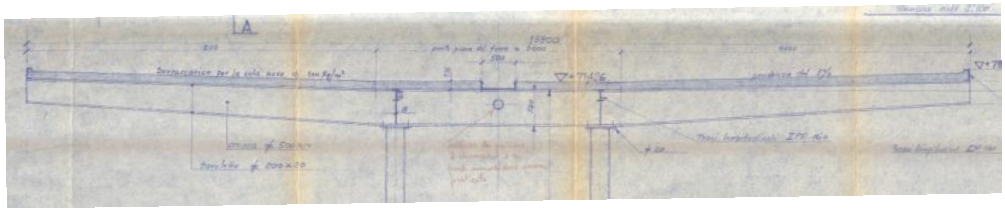
ELEMENTO:	**COLONNE PENSILINA (picch. 2 – 3 – 8 – 9)**	**TAV.37199**
QUOTA:	da + 65.310 m a + 71.310 m	
FILI:	B - C	
PICCHETTI:	2 – 3 – 8 – 9	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.18 mm)	da + 65.310 m a + 68.110 m
	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.18 mm)	da + 68.110 m a + 71.310 m

ELEMENTO:	**COLONNE PENSILINA (picch. 10)**	**TAV.37199**
QUOTA:	da + 65.310 m a + 71.310 m	
FILI:	B - C	
PICCHETTI:	10	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.18 mm)	

Le travi del piano intermedio sono IPE 550 e IPE 360, che sostengono una soletta su lamiera grecata.
Su questi solai il carico da considerare (indicato direttamente sulla tavola) è di 1.5 ton/m^2.

ELEMENTO:	**TRAVI PIANO INTERMEDIO PENSILINA**	**TAV.37199**
QUOTA:	+ 68.110 m	
FILI:	B - C	
PICCHETTI:	2 – 3 – 8 – 9	
SEZIONE	IPE 550	
	IPE 360	

Passando invece alla copertura vera e propria, si osserva:



ELEMENTO:	**TRAVI TRASVERSALI TRA COLONNE COPERTURA**	**TAV.37199**
QUOTA:	+ 71.310 m	
SEZIONE	H = 540 mm B = 200 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 20 mm	

ELEMENTO:	**TRAVI LONGITUDINALI TRA COLONNE COPERTURA**	**TAV.37199**
QUOTA:	+ 71.310 m	
SEZIONE	IPE 160	

ELEMENTO:	**TRAVI SBALZI COPERTURA**	**TAV.37199**
QUOTA:	+ 71.310 m	
FILI:	da A a B e da C a D	
PICCHETTI:	2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10	
SEZIONI	Travi a sezione variabile da H = 540 mm B = 200 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 20 mm da H = 300 mm B = 200 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 20 mm	

ELEMENTO:	**TRAVI TRASVERSALI DI CHIUSURA COPERTURA**	**TAV.37199**
QUOTA:	+ 71.310 m	
	UNP 260	

ELEMENTO:	**TRAVI LONGITUDINALI DI CHIUSURA COPERTURA**	**TAV.37199**
QUOTA:	+ 71.310 m	
	UNP 160	

4.1.2 Corpo scale: struttura in elevazione

Per il corpo scale non sono al momento disponibili tutti gli elaborati necessari all'identificazione completa degli elementi strutturali.
Le sezioni di seguito riportate sono frutto di informazioni presenti sull'elaborato indicato, integrato con supposizioni effettuate per procedere nella modellazione.
Una delle informazioni mancati, molto importante, riguarda lo spessore delle colonne di cui sono noti solo gli ingombri esterni.

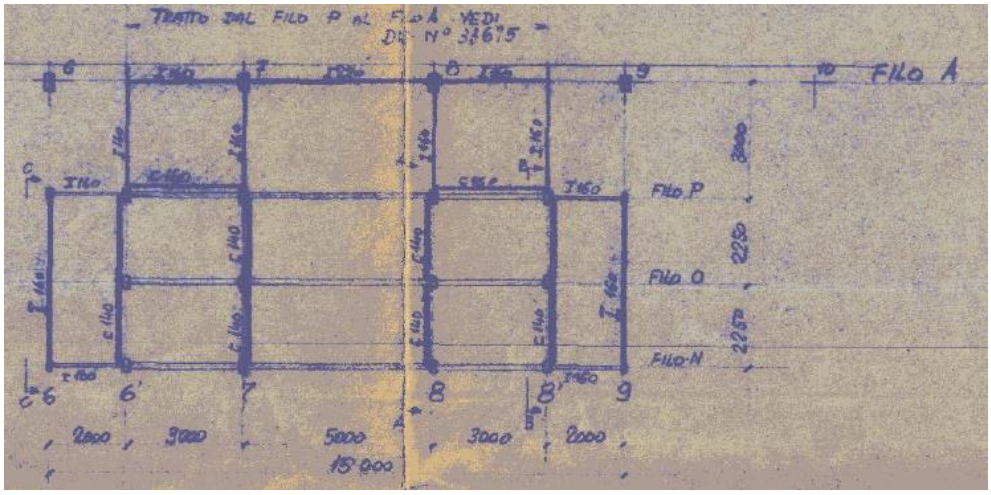
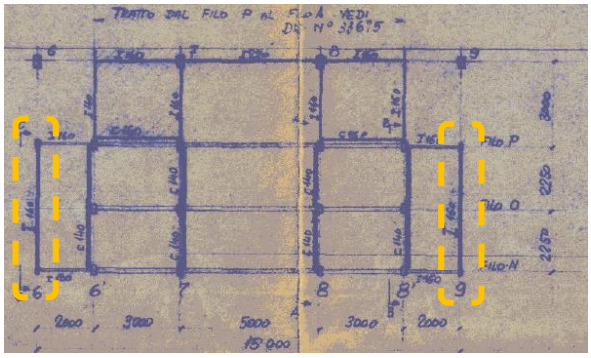


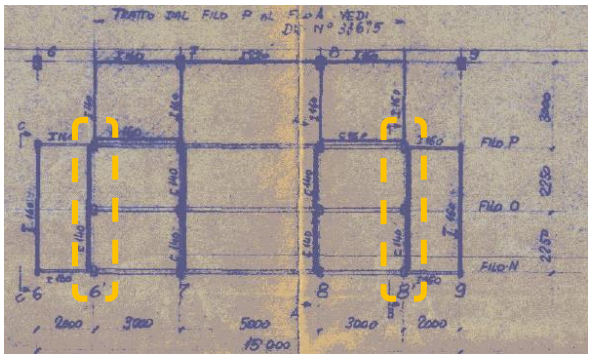
Immagine estratta da Tav-35242

Il fabbricato presenta una pianta rettangolare di dimensioni 15 m x 4.5 m composta da 6 file di colonne sul lato lungo e 3 sul lato corto, come riportato nell'immagine.
Il corpo scale è posizionato lungo la facciata sud-est del grattacielo e si collega ad esso attraverso delle travi di sbarco.
Si riportano di seguito, in analogia a quanto fatto per l'edificio principale, le caratteristiche degli elementi strutturali indentificati tramite l'intersezione tra i fili N, O, P e i picchetti 6, 6', 7, 8, 8' 9.

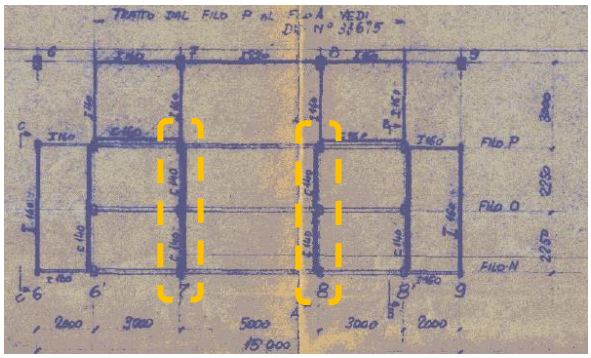
4.1.2.1 Colonne corpo scale



ELEMENTO:	**COLONNE ESTERNE**	**TAV.35242**
QUOTA:	da – 0.90 m a + 65.310 m	
FILI:	N – P	
PICCHETTI:	6 – 9	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 140 mm x 200 mm (sp.14 mm)	da – 0.90 m a + 29.310 m (1° ÷ 8° piano)
	Dimensione 126 mm x 180 mm (sp.12 mm)	da + 29.310 m a + 50.310 m (9° ÷ 14° piano)
	Dimensione 112 mm x 160 mm (sp.10 mm)	da + 50.310 m a + 65.310 m (15° ÷ 18° piano)



ELEMENTO:	**COLONNE INTERMEDIE**	**TAV.35242**
QUOTA:	da – 0.90 m a + 65.310 m	
FILI:	N – O – P	
PICCHETTI:	6’ – 8’	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.18 mm)	da – 0.90 m a + 29.310 m (1° ÷ 8° piano)
	Dimensione 182 mm x 260 mm (sp.16 mm)	da + 29.310 m a + 50.310 m (9° ÷ 14° piano)
	Dimensione 168 mm x 240 mm (sp.14 mm)	da + 50.310 m a + 65.310 m (15° ÷ 18° piano)



ELEMENTO:	**COLONNE INTERNE**	**TAV.35242**
QUOTA:	da – 0.90 m a + 65.310 m	
FILI:	N – O – P	
PICCHETTI:	7 – 8	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 196 mm x 280 mm (sp.20 mm)	da – 0.90 m a + 29.310 m (1° ÷ 8° piano)
	Dimensione 182 mm x 260 mm (sp.18 mm)	da + 29.310 m a + 50.310 m (9° ÷ 14° piano)
	Dimensione 168 mm x 240 mm (sp.16 mm)	da + 50.310 m a + 65.310 m (15° ÷ 18° piano)

4.1.2.2 Travi corpo scale

ELEMENTO:	**TRAVI TRASVERSALI ESTERNE**	**TAV.35242**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	N ÷ P	
PICCHETTI:	6 – 9	
SEZIONE:	H = 160 mm B = 100 mm spessore anima = 10 mm spessore ali = 20 mm	da + 4.550 m a + 65.310 m (1° ÷ 18° piano)

ELEMENTO:	**TRAVI TRASVERSALI INTERMEDIE**	**TAV.35242**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	N ÷ P	
PICCHETTI:	6 – 9	
SEZIONE:	UPN 140	da + 4.550 m a + 65.310 m (1° ÷ 18° piano)

ELEMENTO:	**TRAVI TRASVERSALI INTERNE**	**TAV.35242**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	N ÷ P	
PICCHETTI:	6 – 9	
SEZIONE:	UPN 140	da + 4.550 m a + 65.310 m (1° ÷ 18° piano)

ELEMENTO:	**TRAVI LONGITUDINALI ESTERNE**	**TAV.35242**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	N	
PICCHETTI:	6’ ÷ 8’	
SEZIONE:	INP 220	da + 4.550 m a + 65.310 m (1° ÷ 18° piano)

ELEMENTO:	**TRAVI LONGITUDINALI ESTERNE TERMINALI**	**TAV.35242**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	N – P	
PICCHETTI:	6 ÷ 6’ e 8’ ÷ 9	
SEZIONE:	INP 160	da + 4.550 m a + 65.310 m

		(1° ÷ 18° piano)

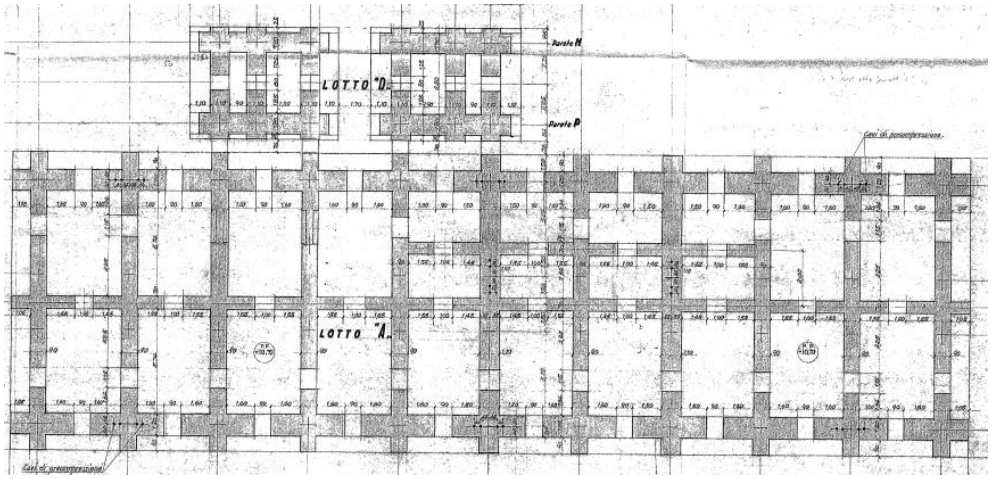
ELEMENTO:	**TRAVI LONGITUDINALI INTERMEDIE CENTRALI**	**TAV.35242**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	O – P	
PICCHETTI:	7 ÷ 8	
SEZIONE:	INP 260	da + 4.550 m a + 65.310 m (1° ÷ 18° piano)

ELEMENTO:	**TRAVI LONGITUDINALI INTERMEDIE TERMINALI**	**TAV.35242**
QUOTA:	da + 4.550 m a + 65.310 m	
FILI:	O – P	
PICCHETTI:	6’ ÷ 7 e 8 ÷ 8’	
SEZIONE: Rettangolare	Dimensione 110 mm x 260 mm (sp.10 mm)	da + 4.550 m a + 65.310 m (1° ÷ 18° piano)

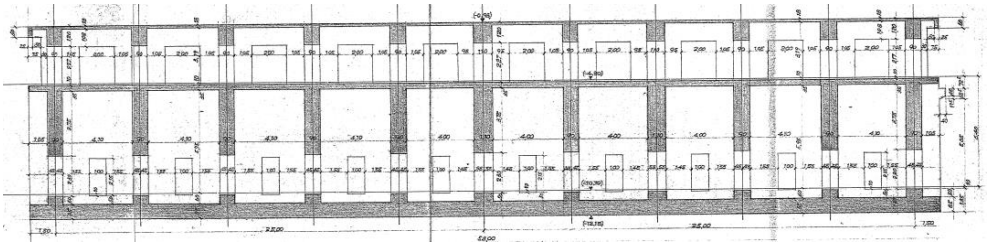
Per quanto riguarda le travi di collegamento tra corpo scale e corpo principale i profili utilizzati sono INP 160 per tutte le quote.

4.1.3 Fondazione

Il corpo scale e l'edificio principale presentano un'unica e solidale struttura di fondazione.
Di seguito si riporta una pianta esplicativa dell'orditura delle fondamenta.



Sono presenti setti in C.A. di spessore 120/110/90/70 cm che formano l'ossatura portante che sorregge le colonne delle strutture in acciaio fuori terra.



Il piano di imposta è a -12.15 m rispetto al piano campagna e presenta un solettone di 85 cm spessore.
Alla quota di – 4.40 m è presente il solaio del piano – 1 realizzata da una soletta di spessore 35 cm.

Salendo ancora si incontra la soletta da 18 cm di spessore, posta a quota – 0.9 m, che compone il piano del livello 0.
I setti presentavo diverse aperture ma nonostante ciò la fondazione è un blocco molto rigido che "incastra" le strutture in acciaio al suolo.
Le aperture mettono in comunicazione i piani interrati dell'edificio principale, oltre che con il corpo scale, anche con gli edifici adiacenti.

Di tutte le opere i C.A. sono disponibili, all'interno della documentazione, tutti i dettagli delle disposizioni delle armature il che fa pensare che la realizzazione sia stata contemporanea a quella delle strutture in acciaio.
Non sono stati trovati tra i documenti evidenze di realizzazioni di pali di fondazione. Gli unici documenti trovati sono relativi a proposte di realizzazione di palificate ma non si è trovata evidenza dell'effettiva realizzazione.
Questo sarebbe un aspetto senza dubbio da approfondire.

Capitolo 5

Modello di calcolo

5.1 Considerazioni generali

Per tutte le considerazioni riportate nel capitolo dell'analisi documentale, riguardanti soprattutto le fondazioni e l'interazione con gli edifici bassi circostanti, si è deciso di effettuare una modellazione della sola struttura del grattacielo. Le motivazioni che hanno portato a questa scelta sono legate agli aspetti discussi in precedenza, di seguito riepilogati:

- esclusione del martellamento in quanto gli edifici bassi presentano, dalla documentazione a disposizione, colonne in acciaio distanziate rispetto a quelle dell'edificio principale;

- esclusione del martellamento anche in relazione alla rilevante differenza di altezza tra il grattacielo e gli edifici circostanti;

- valutazione di eventuali interazioni statiche tra le fondazioni dei vari edifici non rilevanti se paragonate a quelle dovute al solo edificio alto;

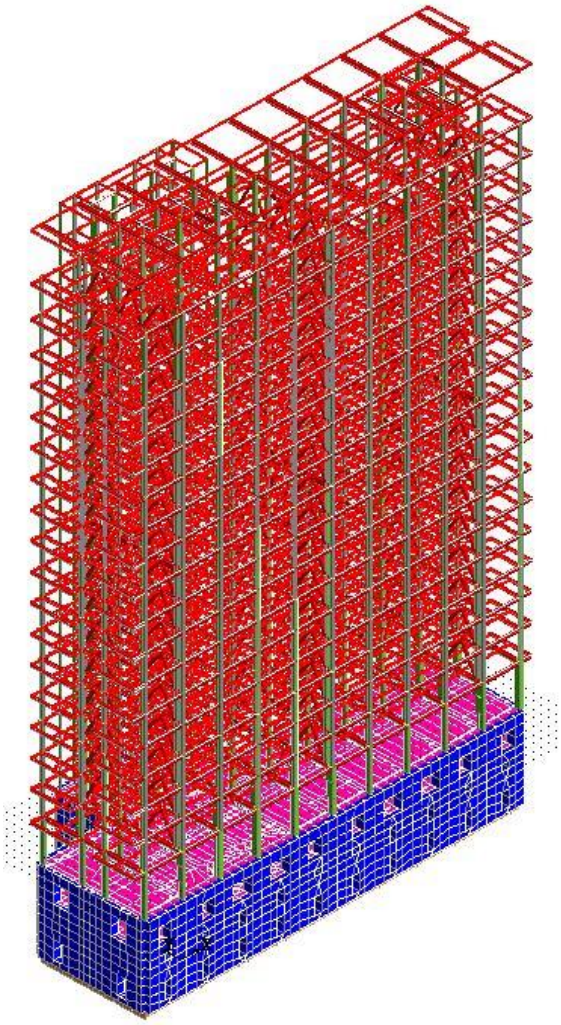
Lo zero sismico per la struttura è stato posizionato alla quota del piano terreno (-0,90 m) motivato dai collegamenti precedentemente illustrati tra le fondazioni e i muri contro-terra.

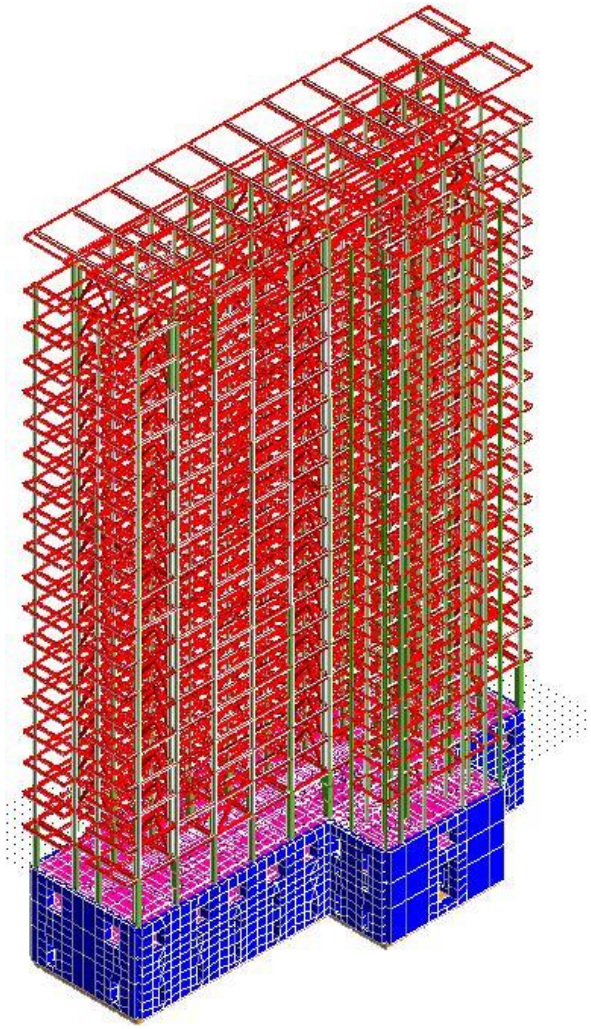
Si precisa che effettuare il modello di calcolo è stato utile, in quanto ha permesso di fare uno studio approfondito della documentazione disponibile e ha evidenziato una possibile interpretazione del comportamento della struttura, mettendo in luce i punti che sarà necessario approfondire.

E'anche però importante sottolineare che fare in questa fase delle considerazioni sui numeri ottenuti dal modello di calcolo – specialmente nei confronti delle azioni orizzontali (vento e sisma) – non sarebbe corretto, in quanto si hanno ancora molte incertezze sulla struttura esistente.
Tuttavia risulta interessare fare delle verifiche dei risultati ottenuti. Tali valutazioni vengono riportate nei paragrafi successivi.

5.2 Modellazione strutturale

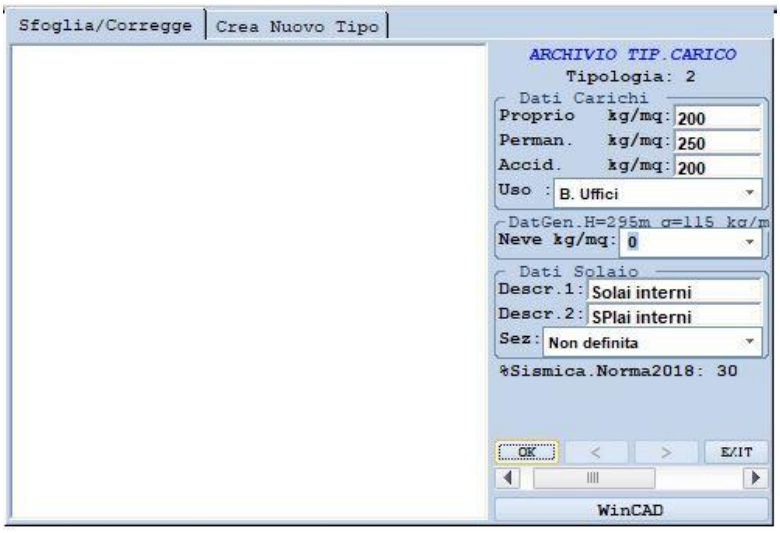
Come detto nel precedente paragrafo, si è proceduto alla modellazione del solo edificio alto e del corpo scale, sia per quanto riguarda la struttura in elevazione che per quella interrata.

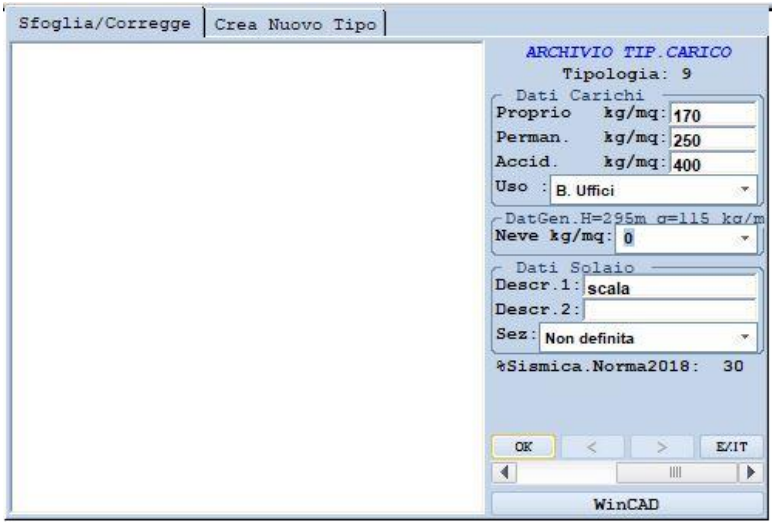




5.2.1 Carichi verticali

I carichi verticali sono stati applicati a tutti i piani, effettuando l'analisi del pacchetto dei carichi permanenti dei solai, in quanto in possesso della loro stratigrafia dalle tavole di progetto. Per quanto riguarda i carichi accidentali, è stata considerata la categoria B1-Uffici non aperti al pubblico, differenziando i solai dell'edificio da quelli appartenenti alle scale.



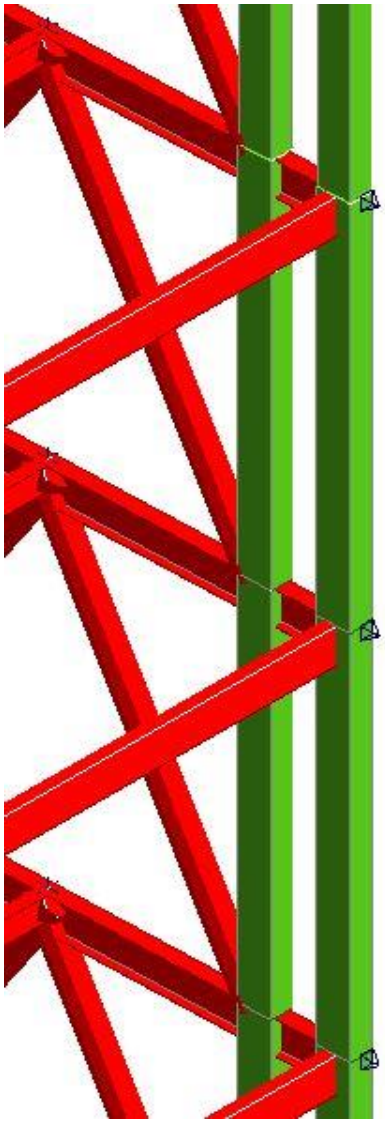


5.2.2 Carichi orizzontali

Con riferimento invece ai carichi orizzontali, il software CDS utilizzato, permette di applicare in automatico sia il carico del vento che il sisma, definendo la zona in cui si colloca la costruzione.
Per l'applicazione del vento, si è scelto di non definire i tamponamenti esterni, ma di far applicare in automatico al software i carichi considerando tutte le superfici di facciata come tamponate.
Questo metodo di applicazione del vento non risulterebbe del tutto corretto nel caso della pensilina di copertura, in quanto il software considera la superficie sottostante chiusa. Questa approssimazione è stata però valutata accettabile in quanto, essendo la zona sotto la pensilina adibita a locali tecnici, non si è certi se siano state introdotte tamponature laterali non presenti nel progetto originale.

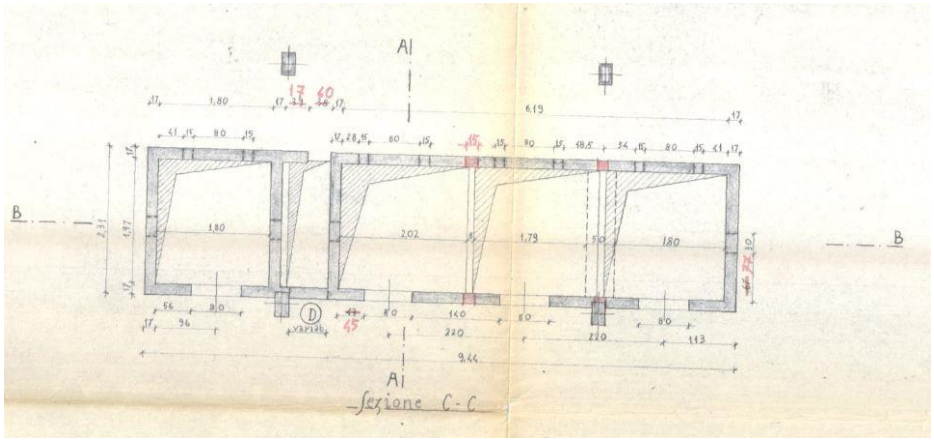
CARICO DA VENTO

Flag Attivazione	SI
Zona geografica	Zona 1
Altezza SLM (m)	295
Dist. costa (km)	100
Tempo Rit.(anni)	50
Classe Rugosita'	A
Casi Aperture	Caso 3
Coeff. Topograf.	1
Coeff. Dinamico	1
Coeff. Attrito	0.02
Flag gen. Telai	CHIUSE
Velocita' (m/s)	25,01834
Pressione kg/mq	39,11984
Categ. Esposiz.	V
Num. Direz Ingr.	2
Angolo Direz 1	0
Angolo Direz 2	90
Angolo Direz 3	45



5.2.3 Valutazione degli elementi di controvento

Uno degli aspetti più importanti da indagare riguarda il controventamento della struttura nei piani verticali.
Sono presenti infatti controventi nelle due direzioni, di cui purtroppo non si conoscono tutte le sezioni e si è scelto di ipotizzarle per poter procedere nella prima fase di valutazione (cfr. Capitolo 4).
Sempre in relazione al controventamento, è stata valutata la possibile influenza dei setti in c.a. del vano ascensori, dei montacarichi e di altri vani impianti.



Si è scelto tuttavia di non portare avanti la modellazione di questi elementi per diversi motivi:

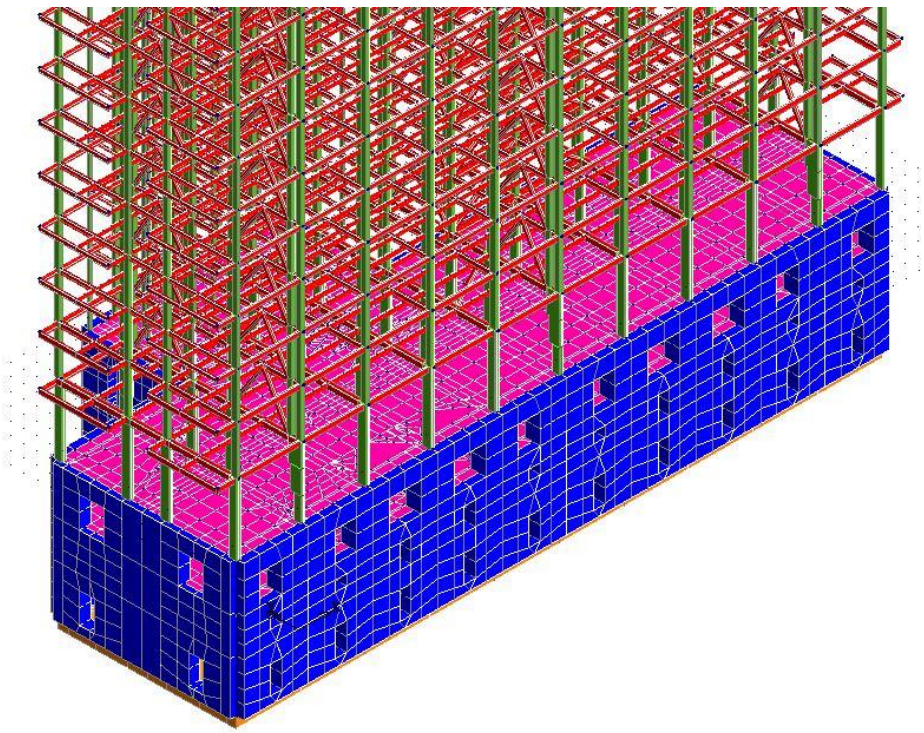
- il loro spessore risulta essere ridotto, più precisamente di 17 cm, quindi parrebbero essere più degli elementi divisori o delle compartimentazioni di protezione dal fuoco, che setti con funzione di controventamento dell'intero edificio;

- sugli elaborati di progetto viene riportato lo schema statico dell'intero edificio, con travi, pilastri e controventi in acciaio, quindi in questa fase si è scelto di non aggiungere altri elementi di cui non si conosce nel dettaglio la funzione;

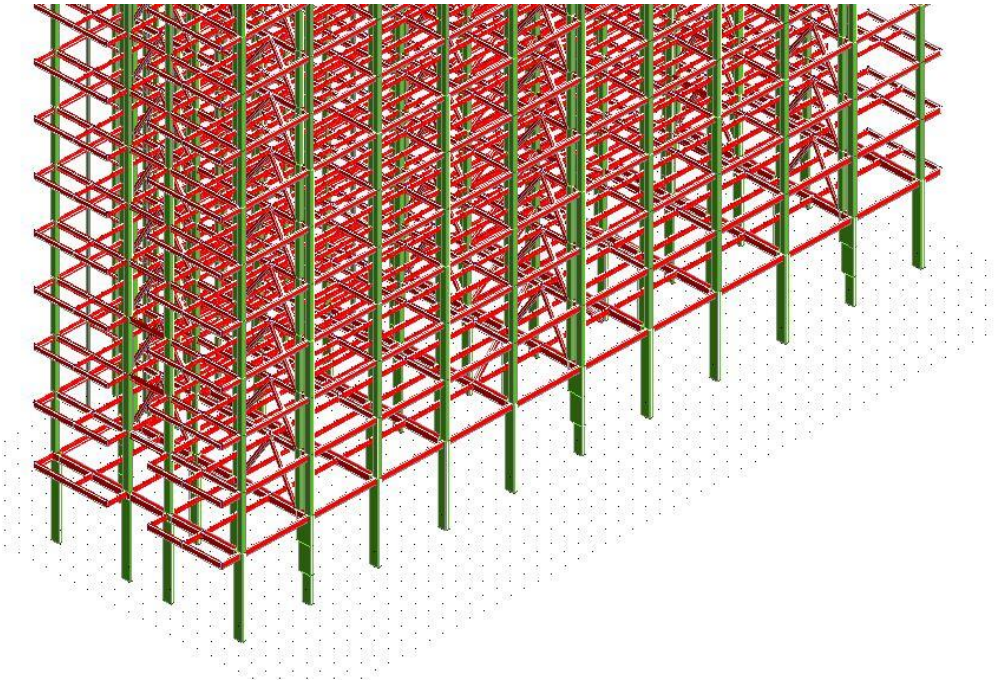
5.3 Modello incastrato

Come anticipato nel paragrafo precedente, è stato effettuato il modello ad elementi finiti della struttura, introducendo oltre agli elementi in acciaio dei piani in elevazione, anche le fondazioni in C.A.
Le fondazioni, secondo quanto riportato sulle tavole di progetto, sono costituite dal una "scatola" in cemento armato composta da:

- Platea di spessore pari a 85 cm a quota -12,15 m
- Solaio di spessore pari a 35 cm a quota -4,4 m
- Solaio di spessore pari a 18 cm a quota -0,9 m
- Setti perimetrali e intermedi che hanno da 70 a 120 cm di spessore, che vanno da quota -12,15 m a quota -0,9 m



Questo blocco di setti e solai costituisce una fondazione molto rigida per il grattacielo.
Di questo aspetto si è avuto riscontro dal software di calcolo in quanto, una volta terminata la modellazione e avviato il calcolo, il software forniva un messaggio di errore, poichè rilevava una labilità della struttura.
In realtà non si trattava di una vera e propria labilità, ma piuttosto di una mal-condizionamento della matrice di rigidezza, in quanto la differenza di rigidezza tra fondazioni e struttura in elevazione risultava dell'ordine di 10^{12}.
Il problema è stato superato togliendo la condizione di piano rigido per i solai interrati, condizione infatti non necessaria in quanto trattasi di piastre spesse, intrinsecamente rigide.
Per poter verificare questo aspetto anche dal punto di vista numerico, si è deciso di effettuare anche una modellazione della struttura in elevazione eliminando le fondazioni e ponendo degli incastri alla base delle colonne.

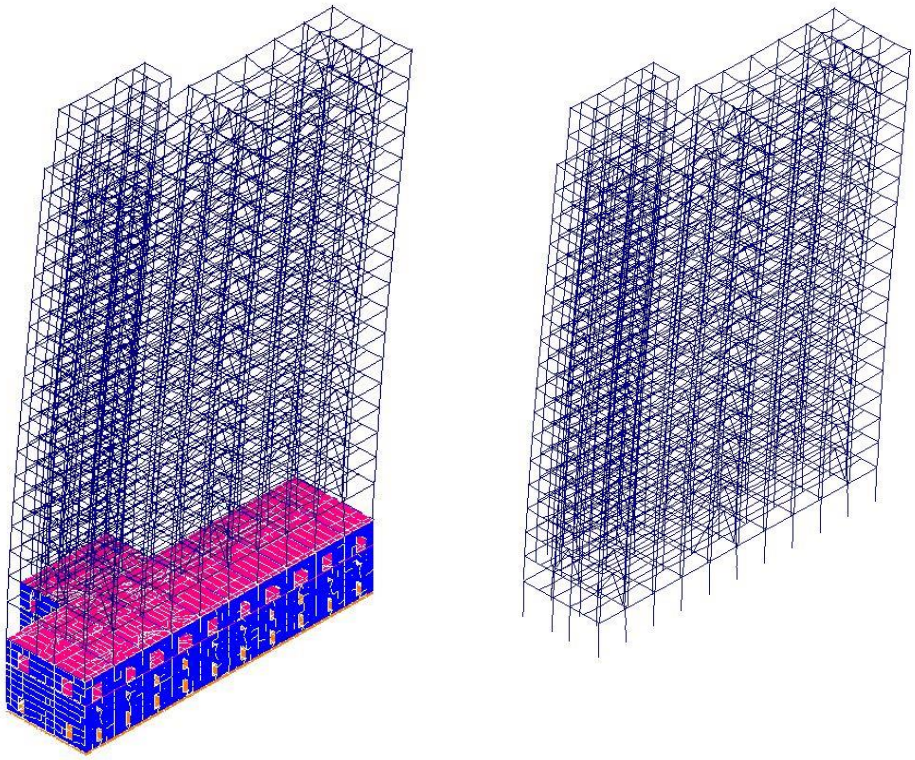


5.4 Confronto modelli

Avendo effettuato due modellazioni differenti della struttura, una con le fondazioni in cemento armato e una con gli incastri alla base delle colonne in acciaio, risulta interessate effettuare il confronto in termini di spostamenti in testa alle colonne. Tale confronto non verrà effettuato in termini numerici, date tutte le incertezze che si hanno sugli elementi strutturali, ma in termini percentuali, per comprendere se le due modellazioni risultano essere equivalenti o meno.
Per effettuare queste valutazione si è scelto di considerare le combinazioni SLE rare con il vento predominante in tutte e quattro le direzioni.

COMBINAZIONI CON IL VENTO DOMINANTE				
	Comb.5	Comb.8	Comb.11	Comb.14
Peso proprio	1	1	1	1
Permanente	1	1	1	1
Var. uffici	0,7	0,7	0,7	0,7
Var.Scale	0,7	0,7	0,7	0,7
Var. Park	0,7	0,7	0,7	0,7
Var. Neve	0,5	0,5	0,5	0,5
Var. Cop.	0	0	0	0
Vento dir. 0	1	0	0	0
Vento dir. 90	0	1	0	0
Vento dir. 180	0	0	1	0
Vento dir. 270	0	0	0	1

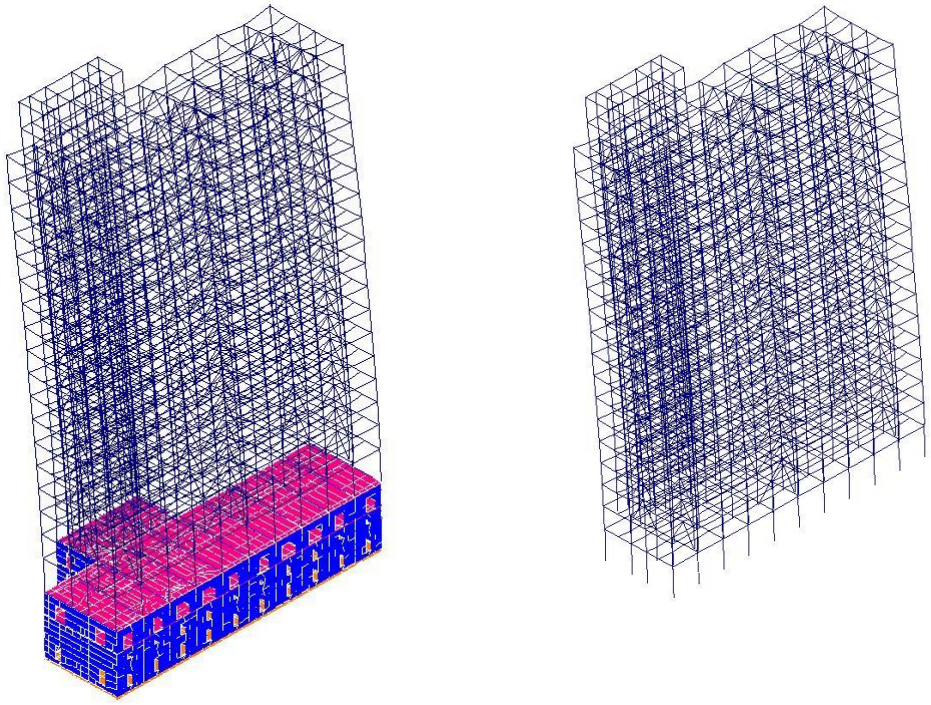
COMBINAZIONE 5 – VENTO DIR. 0°



DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$\text{VAR [\%]} = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/ \delta_{fond})*100 = 7{,}6\ \%$$

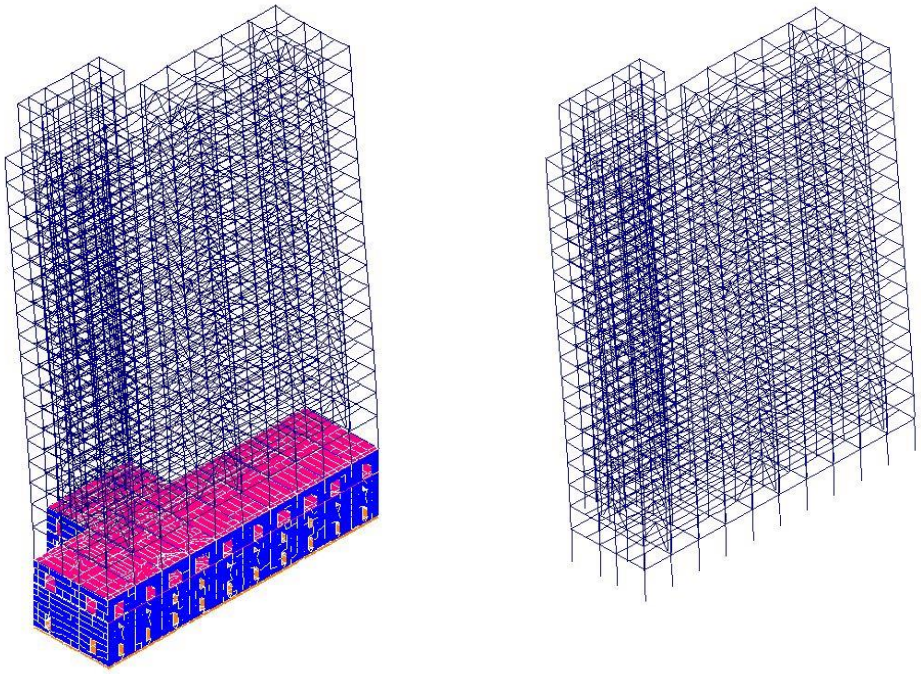
COMBINAZIONE 8 – VENTO DIR. 90°



DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$\text{VAR [\%]} = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/ \delta_{fond})*100 = 12\ \%$$

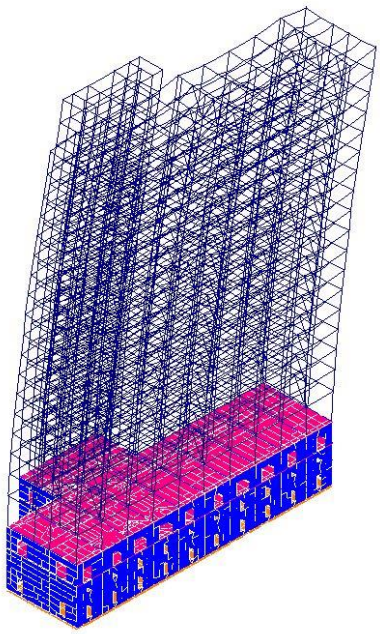
COMBINAZIONE 11 – VENTO DIR. 180°

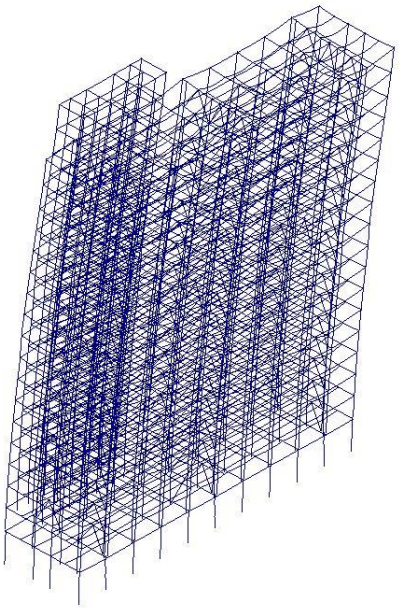


DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$\text{VAR [\%]} = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/ \delta_{fond})*100 = 8{,}6\ \%$$

COMBINAZIONE 14 – VENTO DIR. 270°





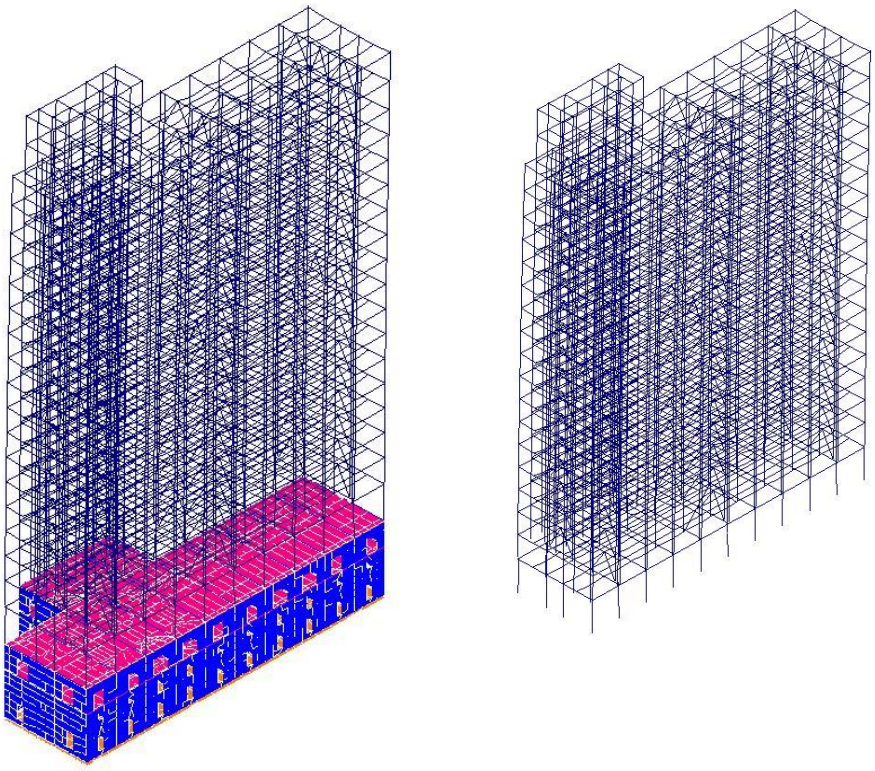
DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$\text{VAR [\%]} = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/ \delta_{fond})*100 = 10{,}8\ \%$$

Risulta interessante eseguire lo stesso ragionamento anche per le combinazioni sismiche, anche se si valuta comunque predominante l'azione del vento, data l'altezza e la superficie esposta, e non l'azione sismica, date le masse di piano non elevatissime, trattandosi di una struttura in acciaio.

COMBINAZIONI CON IL SISMA DOMINANTE				
	Comb.15	Comb.27	Comb.31	Comb.43
Peso proprio	1	1	1	1
Permanente	1	1	1	1
Var. uffici	0,3	0,3	0,3	0,3
Var.Scale	0,6	0,6	0,6	0,6
Var. Park	0,3	0,3	0,3	0,3
Var. Neve	0	0	0	0
Var. Cop.	0	0	0	0
Sisma dir. 0	1	-1	0,3	-0,3
Sisma dir. 90	0,3	-0,3	1	-1

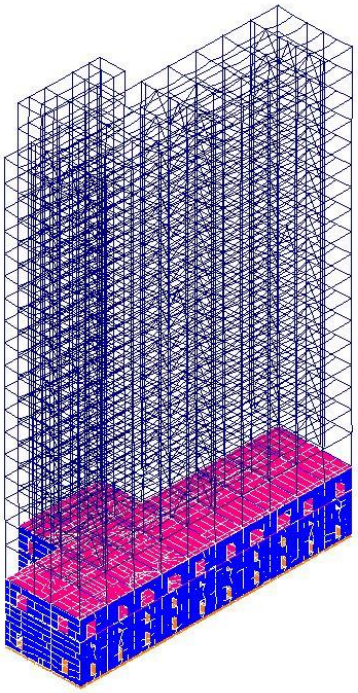
COMBINAZIONE 15

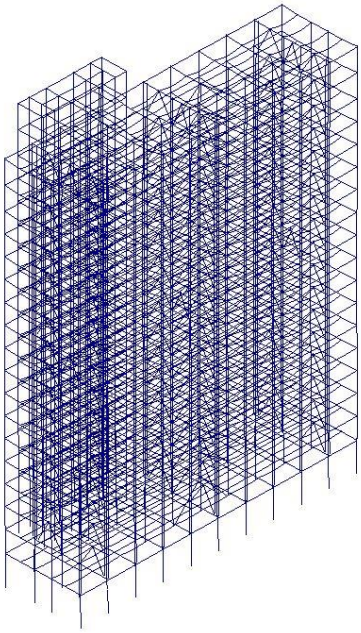


DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$\text{VAR [\%]} = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/ \delta_{fond})*100 = 3{,}4\ \%$$

COMBINAZIONE 27

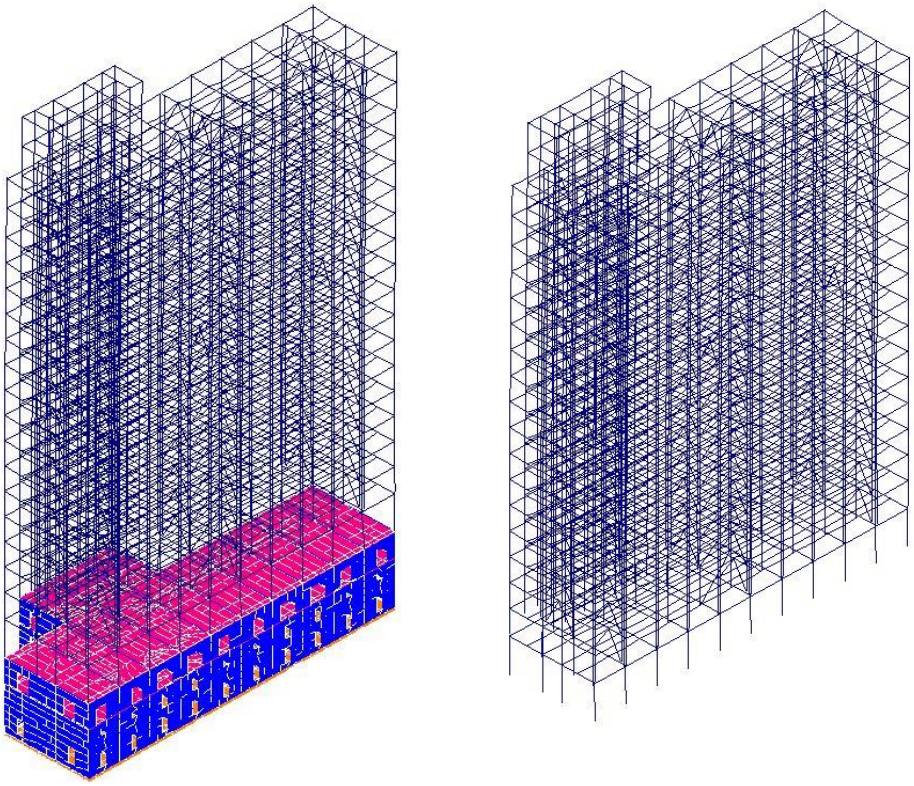




DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$VAR\ [\%] = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/\ \delta_{fond})*100 = 3{,}7\ \%$$

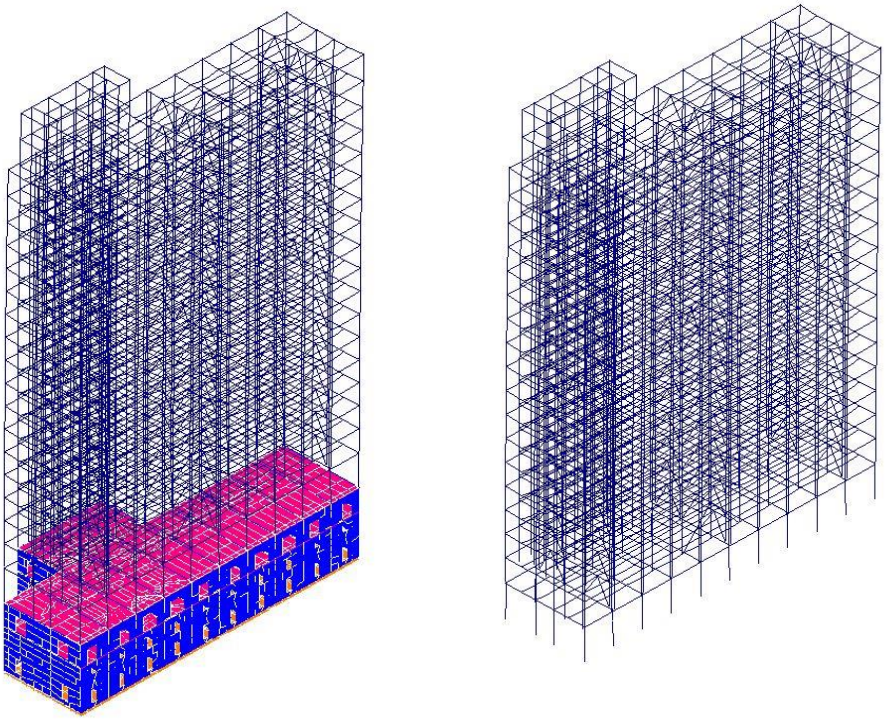
COMBINAZIONE 31



DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$\text{VAR [\%]} = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/ \delta_{fond})*100 = 4{,}3\ \%$$

COMBINAZIONE 43



DIFFERENZA PERCENTUALE TRA MODELLO CON FONDAZIONE E MODELLO CON INCASTRI ALLA BASE

$$\text{VAR [\%]} = ((\delta_{fond} - \delta_{inc})/ \delta_{fond})*100 = 3{,}3\ \%$$

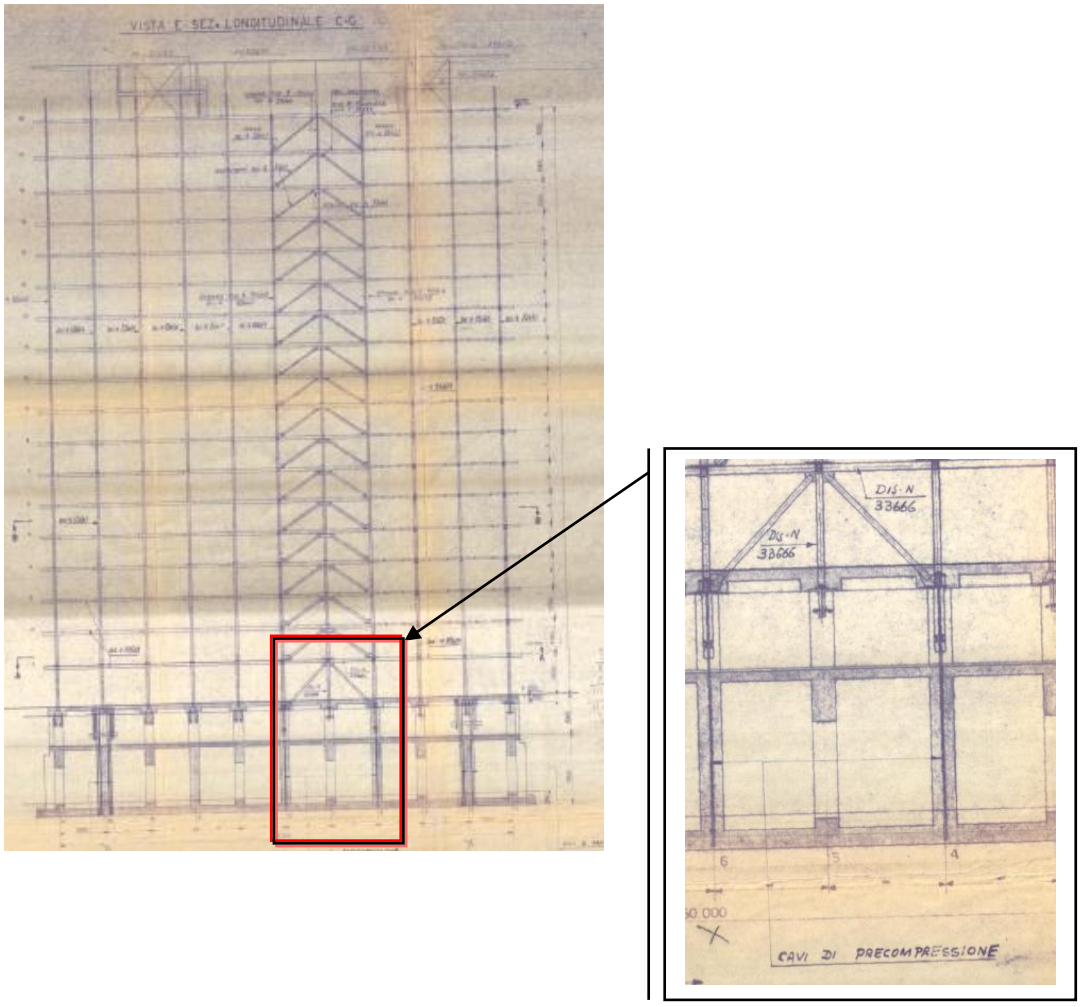
Come si può osservare dai risultati ottenuti, le differenze fra le due tipologie di modello, in termini di percentuali di spostamento, risultano essere contenute.

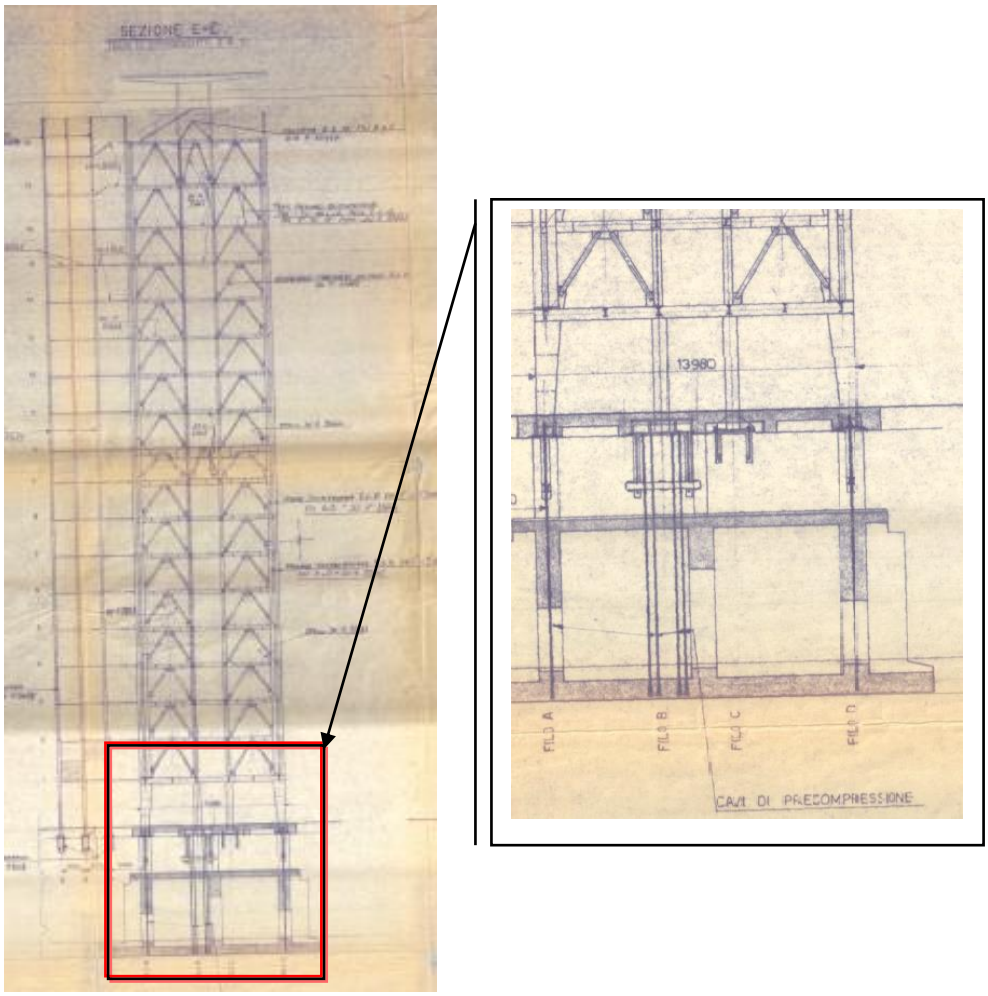
Questo aspetto conferma il fatto che il basamento del grattacielo è una struttura molto rigida, assimilabile ad un incastro.

Trattandosi di uno studio preliminare, in cui le incognite sulla struttura esistente risultano ancora numerose, il fatto di poter approssimare tutta la fondazione del grattacielo con un incastro alla base delle colonne rappresenta un notevole vantaggio perché accorcia notevolmente l'onere computazionale, problematica tipica per le strutture di grandi dimensioni.

5.5 Validazione del modello

Un aspetto molto importante, che valida il modello di calcolo preliminare lo si può andare a ricercare nel comportamento dei pilastri posizionati sui fili interessati dai controventi verticali.
Si vedano le sezioni longitudinali e trasversali dell'edificio riportate sugli elaborati grafici:

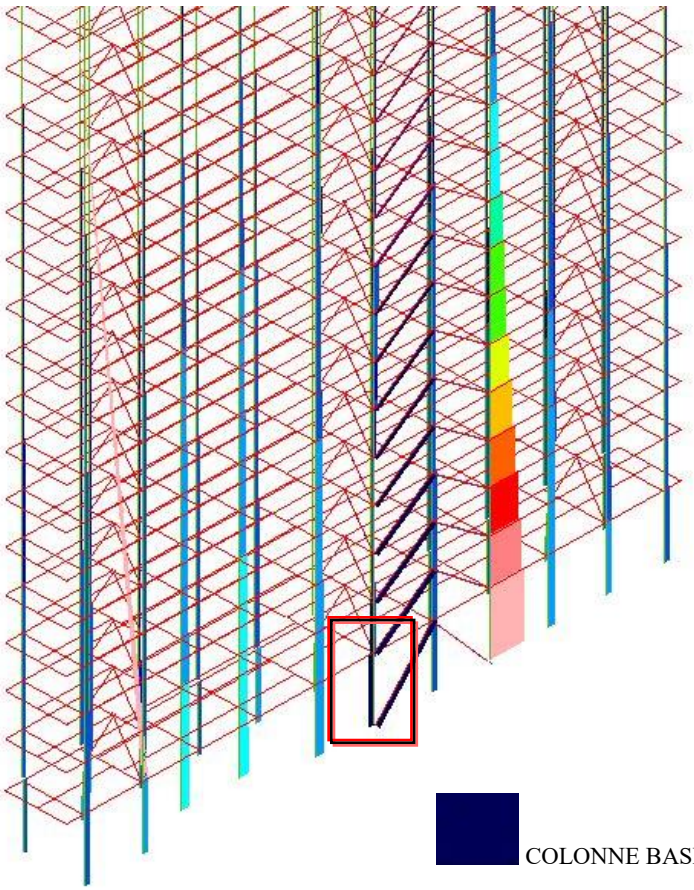



SEZIONE E-E
13980
FILO A
FILO B
FILO C
FILO D
CAVI DI PRECOMPRESSIONE

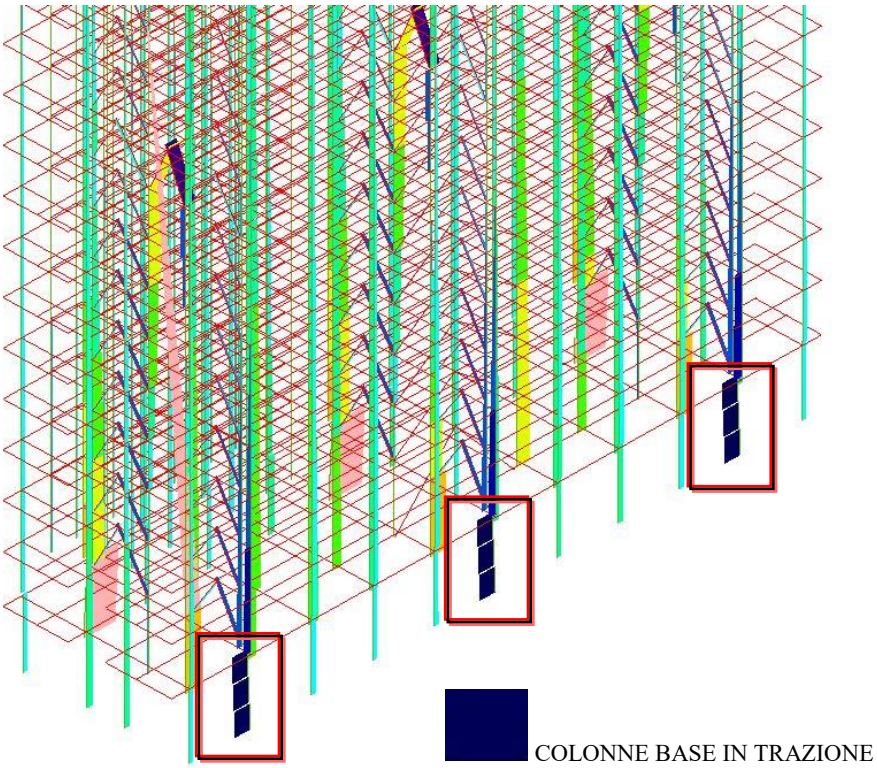
Passando al modello, nelle combinazioni con l'azione del vento, quindi con l'inserimento delle azioni orizzontali predominanti, tali pilastri presentano una sollecitazione di trazione dovuta al comportamento a mensola incastrata alla base dell'intera struttura.

COMBINAZIONE 5 – VENTO DIR. 0°

Sezione longitudinale in corrispondenza dei controventi

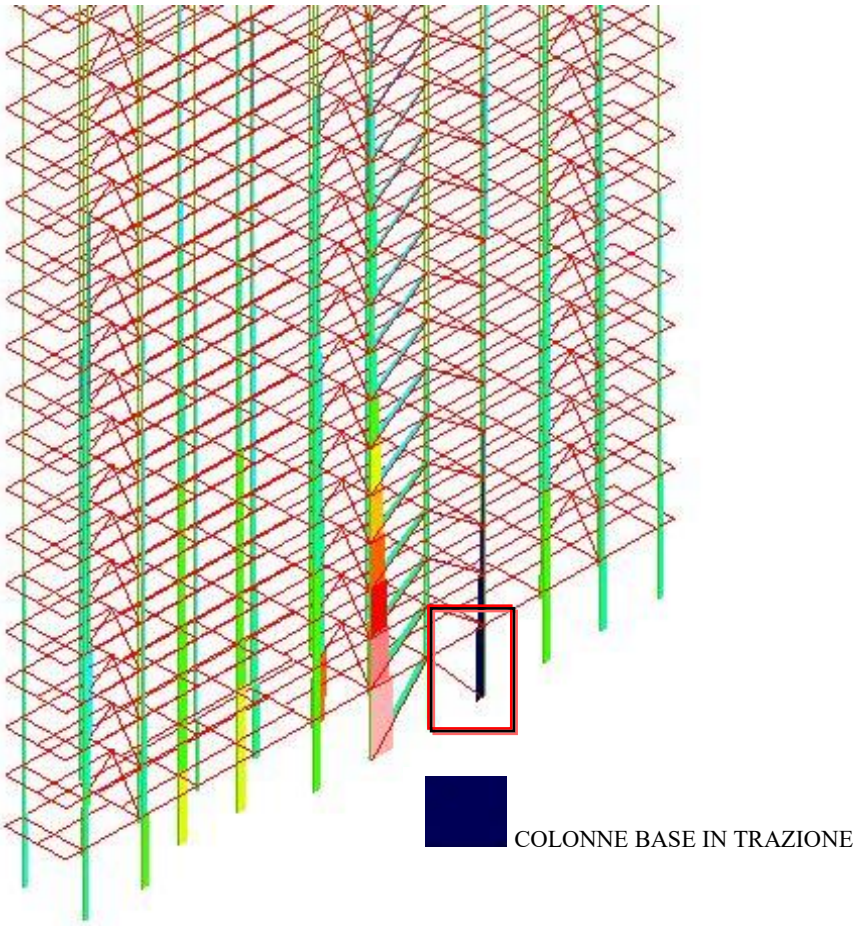


COMBINAZIONE 8 – VENTO DIR. 90°

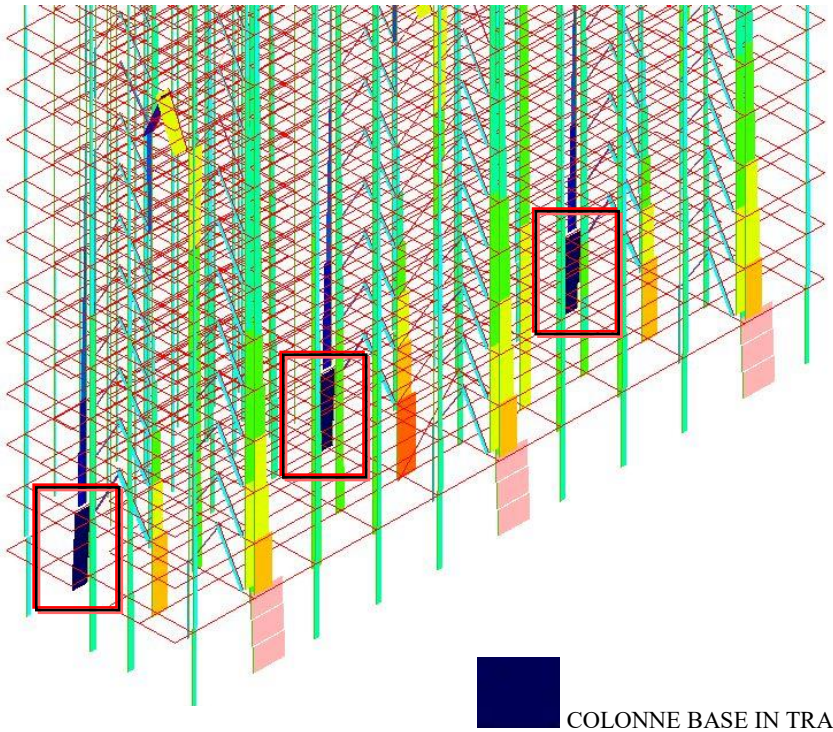


COMBINAZIONE 11 – VENTO DIR. 180°

Sezione longitudinale in corrispondenza dei controventi



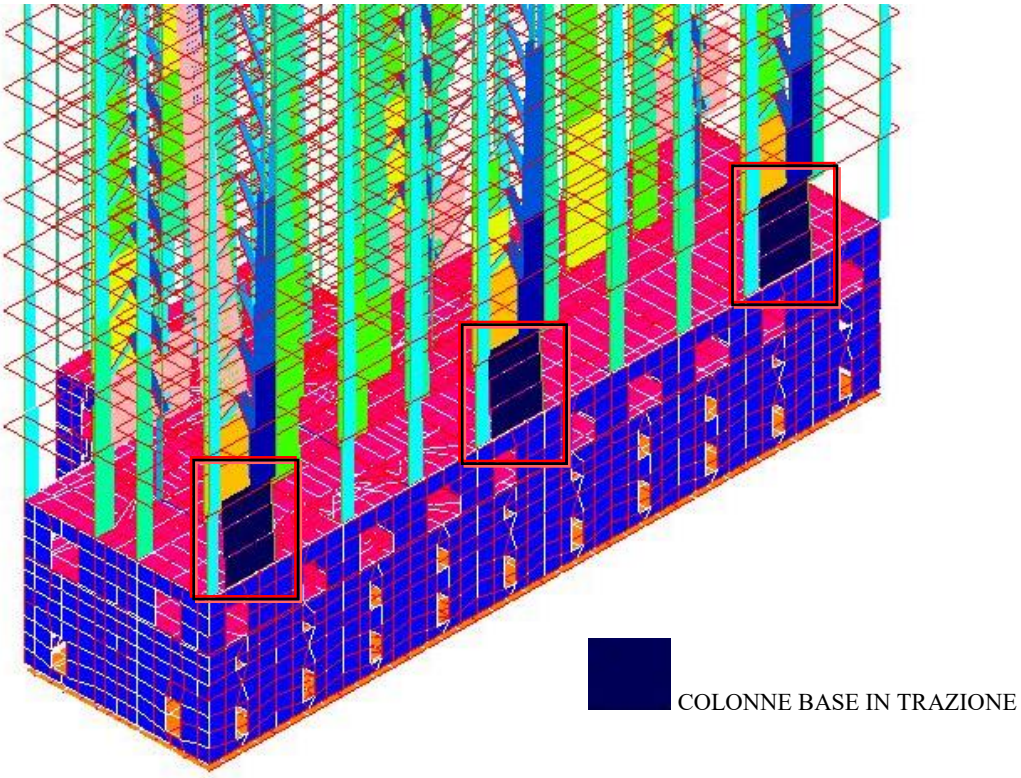
COMBINAZIONE 14 – VENTO DIR. 270°



COLONNE BASE IN TRAZIONE

COMBINAZIONE 8 – VENTO DIR. 90°

Modello con fondazioni in C.A.



Da un ulteriore confronto vediamo che le risposte del modello con le fondazioni in C.A. e di quello incastrato continuano a fornire risultati sovrapponibili.

La presenza di trazione all'interno dei pilastri posti alla base dell'impalcato è una caratteristica inusuale che contraddistingue questa struttura.

La presa in considerazione della trazione nei pilastri su cui sono presenti i controventi era stata valutata nel progetto originale, come testimoniato dell'inserimento di precompressione proprio in corrispondenza della base di queste colonne.

Questo punto è determinante perché ci consente di poter affermare che il comportamento globale della struttura modellata risulta aderente a quanto progettato.

Ciò ci dà la possibilità di utilizzare il modello per poter valutare (una volta ottenute le informazioni mancanti) gli interventi da effettuare sulla struttura esistente.

Capitolo 6

Conclusioni

Dalle analisi effettuate, i modelli realizzati sembrano ben rappresentare la struttura in oggetto.
La possibilità di aver a disposizione una modellazione il più possibile affidabile è essenziale per poter andare ad intervenire su strutture esistenti, progettate secondo norme superate.
Purtroppo al momento sono presenti diverse lacune che non permettono di definire in maniera compiuta tutti gli elementi relativi al grattacielo ma, il modello preliminare può essere molto utile perché può aiutare a focalizzare l'attenzione su alcuni aspetti che possono aver notevole impatto sulla buona riuscita della riabilitazione dell'edificio.
Nel periodo storico che stiamo vivendo, la realizzazione di una nuova struttura in acciaio di queste dimensioni avrebbe dei costi molto elevati, quindi potrebbe essere la strada più conveniente quella di intervenire su quanto già presente.

La documentazione al momento disponibile è molto precisa e dettagliata, quindi riuscendone a reperire la parte mancante, si potrebbe avere un quadro completo di quanto fu realizzato negli anni '60.
Nel caso questo non fosse fattibile, le informazioni si potrebbero raccogliere direttamente in sito.
Al momento non è stato possibile effettuare sopralluoghi perché la struttura è interessata da un'attività di bonifica e pertanto è inaccessibile.

Venendo però bonificata, probabilmente molti elementi strutturali saranno portati a nudo, rendendo la possibilità di verificare quanto riportato sugli elaborati strutturali molto più agevole.
Un rilievo accurato in sito può non di meno determinare lo stato di degrato delle strutture.
Il rilievo della costruzione potrebbe essere articolato in:

- rilievo visivo degli elementi strutturali principali e conferma di quanto riportato sugli elaborati grafici;

- rilievo visivo a campione dei nodi in carpenteria, dell'armatura delle solette e di quella degli elementi in c.a. degli interrati (andando quindi a rimuovere le finiture che potrebbero scoprire i nodi in carpenteria metallica o andando a rompere localmente il copriferro per verificare lo stato dell'armatura), per confermare quanto riportato sugli elaborati;

- rilievo completo di tutti gli elementi strutturali di cui non si hanno gli elaborati grafici: nelle strutture in acciaio è tuttavia probabile una certa ripetitività e analogia degli elementi e in questo gli elaborati grafici possono essere utili per identificare possibili analogie tra le parti;

- rilievo e stato degli elemeni architettonici (elementi divisori, controsoffitti, facciata vetrata) e degli impianti.

Come già detto non si ha evidenza documentale, almeno al momento, del tipo di acciaio utilizzato per la realizzazione delle strutture in elevazione. Sicuramente il prelievo di provini di materiale su cui effetture le analisi chimiche e meccaniche sarebbe tra le indagini in assoluto più significative e potenzialmente impattanti sull'intero progetto.

Aspetto molto importante da indagare, inoltre, sarebbero le giunzioni saldate, largamente utilizzate in questa struttura. Per la realizzazione dell'edificio molte saldature sono state effettuate in opera e si trovano su elementi molto sollecitati (saldature per unione delle colonne).

L'indagine attraverso i controlli non distruttivi delle saldature, come ad esempio il metodo magnetoscopico (trattandosi in questo caso di elementi realizzati in materiale ferromagnetico), sarebbe essenziale per mappare e verificare lo stato delle giunzioni e per rilevarne eventuali cricche createsi durante il servizio del palazzo.

Ultimo aspetto sicuramente da verificare sarebbe legato ai collegamenti tra gli edifici e tra le loro fondazioni per capire se quanto ipotizzato sia rispondente alla realtà e, come detto, occorerebbe anche constatare l'eventuale presenza di fondazioni profonde.

Vista l'entità dell'opera in oggetto sarebbe auspicabile raggiungere un livello di conoscenza LC3.

Da un lato tale obiettivo sarebbe conveniente per poter considerare un fattore di confidenza pari a 1 e quindi non andare a ridurre quelle che sono le resistenze dei materiali impiegati.
Trattandosi di materiali degli anni '60, un'ulteriore diminuzione di prestazione potrebbe comportare la necessità di interventi corposi per rispettare i limiti fissati da norma.

D'altra parte lavorando su una struttura di grandi dimensioni, "spingere" sulle indagini al fine di inquadrare completamente lo stato dell'arte sicuramente sarebbe saggio.

In conclusione, da una prima modellazione si è potuto constatare il comportamento della struttura nel suo complesso ma per giungere ad un risultato definitivo sicuramente saranno necessarie indagini in sito e, alla luce di quanto verrà raccolto, si potrà definire quale sarà il futuro che attende il grattacielo RAI di Torino.

Bibliografia

- *D.M. 14.01.2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*
- *Circolare 21.01.2019 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2018*
- *www.investinitalyrealestate.com*
- *https://www.moleantonellianatorino.it/contenuti/la-storia-della-mole-antonelliana.html*
- *Google Maps*
- *https://www.inarchpiemonte.it/ritratti_06/*
- *https://www.elononline.it/urban/architettura/grattacielo-rai-torino/*