

committente

ACCADEMIA DI BELLE ARTI DI NAPOLI

Ex convento Gesù delle Monache

Nuova sede dell'Accademia delle Belle Arti di Napoli
Via L. Settembrini, 10_Comune di Napoli

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

Codice di elaborato

STR REL 01b

Titolo elaborato

RELAZIONE TECNICA STRUTTURE

Scala

PROGETTISTI INCARICATI IN RTP

Capogruppo - aspetti architettonici e paesaggistici

Od'A Officina d'architettura srl
via Paolo Emilio Imbriani 33, 80132, Napoli
tel/fax 081.661430 - 081.5512020
info@oda.na.it
www.oda.na.it

direttore tecnico
arch. **A**lessandra **F**asanaro

coordinatore sicurezza in fase di progettazione
arch. **G**iovanni **A**urino

gruppo di progetto
arch. **V**incenzo **F**iorillo
arch. **F**rancesca **T**ufano
arch. **F**rancesco **S**cuotto

strutture
Vitruvius Engineering S.a.s.
ing. **G**iancarmine **L**epore
viale M. Cristina di Savoia 18/a, 80122, Napoli
tel/fax 081 19560300
vitruviusengineeringsas@gmail.com

impianti
ing. **G**. **C**acciapuoti
via Bologna 114, 80010, Villaricca (NA)
tel 335 6419875
stgcing@gmail.com

geologia
dott. geo. **G**. **F**alzarano
piazza Tribunali 20, 82011, Airola (BN)
tel 347 5102977
geologofalzarano@gmail.com

	data	redatto	verificato	approvato	revisione
a	07-2023	G.L.	V.F.	G.A.	prima emissione
b	05-2025	P.F.	G.L.	G.L.	seconda emissione

"La proprietà intellettuale e i relativi diritti d'autore del prodotto dell'attività progettuale e di tutto quanto contenuto nel presente Progetto sono riservati ai Progettisti - soprattutto nel rispetto del diritto di paternità e di integrità dell'opera - a norma degli articoli 2575, 2576, 2577, 2578 del Codice Civile e della Legge 633/41 e s.m.i."

Progetto

La riqualificazione strategica del manufatto in oggetto, frutto di una di una progettazione integrata tra gli elementi del progetto, architettonici e strutturali, prevede, dal punto di vista strutturale, una serie di interventi volti alla rifunzionalizzazione del fabbricato.

L'intervento verrà eseguito nel rispetto dei sistemi costruttivi e dei materiali esistenti, con impiego di tecniche e soluzioni quanto meno invasive possibili, proprie degli interventi edifici sottoposti a tutela.

La definizione del progetto si articola in una serie di fasi fondamentali e concatenate che mirano alla determinazione della strategia da attuare.

- La prima fase – **conoscenza**- è consistita nell'acquisizione della documentazione disponibile (grafici e fotografie storiche) oltre ad una diffusa campagna di rilievo ed indagine da cui è stato possibile conoscere e indagare le fasi evolutive dell'edificio e di conseguenza rilevarne le varie criticità e carenze strutturali; per tale fase si è fatto ricorso ad una campagna di indagini in situ che ha permesso il raggiungimento di un soddisfacente livello di conoscenza del fabbricato, consentendo, nei calcoli, di fare ricorso ad un fattore di confidenza pari a F.C.=1,20;
- La fase successiva – **analisi** - è consistita nell'analisi e valutazione delle criticità riscontrate andando, di fatto, a esaminare le problematiche dell'edificio. Tale fase è propedeutica per la determinazione delle scelte progettuali successive in quanto consente di valutare l'effettivo stato di degrado degli elementi analizzati, l'eventuale presenza e la causa di deficienze strutturali degli elementi permettendo, quindi, di indirizzare la successiva fase di progettazione degli interventi;
- La fase conclusiva – **progettazione degli interventi** - ha previsto, quindi, la formulazione delle strategie progettuali da mettere in atto per il raggiungimento degli obiettivi preposti.

Nel seguito vengono discusse le scelte progettuali mirate all'eliminazione/riduzione delle criticità individuate oltre agli interventi necessari ad una rifunzionalizzazione della fabbrica edilizia. Scendendo in dettaglio, gli interventi strutturali previsti riguarderanno:

- Consolidamento delle strutture esistenti
    - **Elementi in muratura**
        - Chiodatura dei cantonali e dei martelli murari;
        - Inserimento di architravi sulle aperture;
        - Consolidamento estradossale delle volte;
        - Realizzazione di nuove aperture nelle murature con conseguente realizzazione di cerchiature metalliche
    - **Orizzontamenti**
        - Consolidamento estradossale e intradossale dei solai in putrelle e tavelloni
- Nuove realizzazioni
    - **Scale** in carpenteria metallica
    - Realizzazione **impianto elevatore**
    - Nuovi **solai** collaboranti in acciaio con lamiera grecata



Normative di riferimento

Il calcolo e la verifica sono stati condotti con riferimento alle seguenti norme:

- Decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018, "*Norme Tecniche per le Costruzioni*" (nel seguito NTC);
- Circolare 21/01/2019 n°7 "*Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni"* (nel seguito Circolare);
- *Linee guida per riparazione e rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni*
- Eurocodice 3 "*Progettazione delle strutture in acciaio"*
- CNR-DT-204/2006 e successivi "*Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture in Calcestruzzo Fibrorinforzato"*

- "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio Culturale" con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni (nel seguito Linee Guida):
- Decreto Legislativo 22.01.2004 n°42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" (nel seguito Codice)

Livello di conoscenza e fattore di confidenza

La conoscenza dei manufatti storici può essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, delle ricerche storiche e delle indagini sperimentali. Il grado di attendibilità del modello è strettamente correlato al livello di approfondimento e ai dati disponibili. Le "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle Norme tecniche per le costruzioni" prevedono tre livelli di conoscenza, ad approfondimento crescente, al quale sono legati i fattori di confidenza da utilizzare nell'analisi. La scelta del livello di conoscenza condiziona l'attendibilità del modello di analisi strutturale ed influenza, quindi, gli indici di sicurezza statica e sismica del manufatto. A ciascun livello di conoscenza corrisponde un diverso "fattore di confidenza" FC (compreso tra 1,00 e 1,35) da utilizzare come ulteriore coefficiente parziale di sicurezza per tenere conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

Il fattore di confidenza può essere determinato definendo diversi fattori parziali di confidenza F_{CK} sulla base dei coefficienti numerici riportati nella tabella successiva della suddetta Direttiva, in cui i valori sono associati alle quattro categorie di indagine e al livello di conoscenza in esse raggiunto:

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^{4} F_{CK}$$

Rilievo geometrico	identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo $F_{C1} = 0.05$	restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3} = 0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1} = 0$	restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0.06$	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0.03$
	restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $F_{C2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0$

Il fattore di confidenza si applica in modo diverso in funzione dei modelli per la valutazione della sicurezza sismica, che possono essere così classificati:

- modelli che considerano la deformabilità e la resistenza dei materiali e degli elementi strutturali;
- modelli che considerano l'equilibrio limite dei diversi elementi della costruzione, pensando il materiale muratura come rigido e non resistente a trazione (creazione di un cinematismo di blocchi rigidi, attraverso l'introduzione di opportune sconnessioni).

Nel primo caso il fattore di confidenza si applica in genere alle proprietà dei materiali, in particolare riducendo le resistenze. I valori di partenza delle caratteristiche meccaniche, a cui eventualmente applicare il fattore di confidenza, saranno definiti in funzione del livello di conoscenza relativo alle proprietà meccaniche dei materiali, utilizzando gli intervalli riportati nelle Tabelle C8A.2.1 e C8A.2.2 della Appendice al capitolo C8 della Circolare delle NTC.

Nel secondo caso, ossia di modelli di corpo rigido, nei quali la resistenza del materiale non viene tenuta in conto, il fattore di confidenza si applica direttamente alla capacità della struttura.

Per il fabbricato in esame è stato considerato:

Rilievo geometrico completo	F_{C1}=0,05
Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	F_{C2}=0,06
Proprietà meccaniche dei materiali	F_{C3}=0,06
Terreno e fondazioni	F_{C4}=0,03
FATTORE DI CONFIDENZA = 1+∑FC	1,20

Come visibile dalla tabella precedente, il valore del fattore di confidenza risulta essere pari a:

FC = 1,20

Contesto geologico e geotecnico

Caratterizzazione sismica dei terreni

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista dinamico richiede la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio Vs degli strati di terreno presenti nel sito. In

particolare si deve avere la conoscenza sino ad almeno 30 metri dal piano campagna (Vs30). La conoscenza del profilo delle onde di taglio Vs degli strati che compongono i primi 30 metri di profondità risulta necessaria per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello del piano fondale tipo di opera;
- valutare il potenziale di liquefazione del terreno;
- valutare l'accelerazione sismica per il calcolo della stabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno nei confronti dell'azione sismica;
- valutare, in condizioni sismiche, la capacità portante ed i cedimenti di rilevati stradali, opere di sostegno, fondazioni degli edifici.

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio dei primi 30 m di profondità, si determina una *velocità media equivalente* **Vs30** rappresentativa del sito in esame. La legge adoperata è la seguente:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} hi/Vi}$$

Dove **hi** e **Vi** indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $<10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di n presenti nei primi 30 metri di profondità. Tale parametro consente di classificare il sito in categorie di sottosuolo. La stima della velocità delle onde di taglio Vs dei vari sismostrati può essere eseguita con la tecnica **MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES** (MASW) che fornisce la stratigrafia e le velocità delle onde di taglio. Una volta acquisiti gli spessori degli strati e le relative velocità delle onde S, si calcola la velocità media relativa ai primi trenta metri di sottosuolo, con la formulazione precedente e si classifica il sito secondo i riferimenti normativi.

Per il sito in esame la campagna di indagini è stata eseguita dalla società **ISTEMI s.r.l.** ed è consistita in:

- n° 1 indagine MASW
- n° 1 indagine sismica di tipo passivo HVSR



fig. 1 - Inquadramento indagini.

Dalle indagini eseguite è possibile determinare il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio. In particolare si è ottenuto il seguente valore:

$V_{S,eq}$ = 286,55 m/s

Le NTC2018 prevedono una suddivisione dei terreni di fondazione in 5 classi in funzione della velocità delle *onde s* dei primi 30 metri, cosi come schematizzato nella seguente tabella:

Terreno	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametro (vs30) (m/s)	In alternativa	
			NSPT	Cu (K/Pa)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800		
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360 ÷ 800	> 50	> 250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri.	180 ÷ 360	15 ÷ 50	70 ÷ 250
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti.	< 180	< 15	< 70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs 30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s\ 30}$ > 800 m/s.			

fig. 2 - Categorie di suolo (NTC 2018)

Dalla relazione geologica in si ricavano le caratteristiche sismiche dei terreni oggetto di studio. In particolare, l'area in esame è caratterizzata da un **sottosuolo di tipo C.**

Criteri di calcolo

La campagna indagini ha evidenziato la carenza di connessioni tra pareti ortogonali con la conseguente possibilità di attivazione di meccanismi di ribaltamento fuori dal piano.

Per la definizione dei criteri di modellazione ed analisi si è fatto riferimento a quanto riportato nelle NTC 2018 (§8.7.1 delle NTC) secondo cui "*nelle costruzioni esistenti in muratura si possono manifestare meccanismi, sia locali, sia globali. I meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente fuori del loro piano medio; essi sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti, sia tra pareti e orizzontamenti, sia negli incroci tra pareti. I meccanismi globali sono quelli che interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano medio. La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo*".

La strategia progettuale, prevedendo esclusivamente interventi di tipo locale, consiste nel valutare esclusivamente il comportamento di porzioni limitate del fabbricato senza eseguire una modellazione globale dell'intero edificio, in accordo anche con quanto riportato nella Circolare Ministeriale.

Valutazione critica dei risultati - carenze riscontrate

A valle della fase di analisi dello stato di fatto è emersa l'incapacità del fabbricato a resistere alle azioni di calcolo. In particolare, si è riscontrata la potenziale attivazione di meccanismi di danno o di collasso locale dovuta sia alle caratteristiche geometriche, alla qualità dei dettagli costruttivi, alle proprietà meccaniche dei materiali che compongono la fabbrica muraria che ai dissesti o danni subiti nell'arco sua storia.

Dai rilievi è stato evidenziato, inoltre, il pessimo stato in cui versa la copertura del corpo B2, realizzata in travi in c.a.p. e più volte oggetto di intervento nel corso del tempo come dimostrato dalla posa in opera di travi trasversali di rinforzo in carpenteria metallica.



fig. 3 - Copertura corpo B2

Altra deficienza riscontrata in fase di rilievo è il notevole degrado di alcuni orizzontamenti interpiano e degli aggetti in ferro e tavelloni.





fig. 4 – Degrado orizzontamenti in putrelle e tavelloni

fig. 5 –Degrado coperture lignee

In conclusione, le carenze riscontrate riguardano:

- Potenziale attivazione di meccanismi di collasso locale;
- Carenza del collegamento trasversale tra le pareti;
- Degrado solai interpiano in ferro e tavelloni;
- Completa inefficienza copertura corpo B2

Per una maggiore chiarezza espositiva si rimanda agli elaborati grafici in allegato nei quali sono indicati gli ambienti oggetto di intervento.

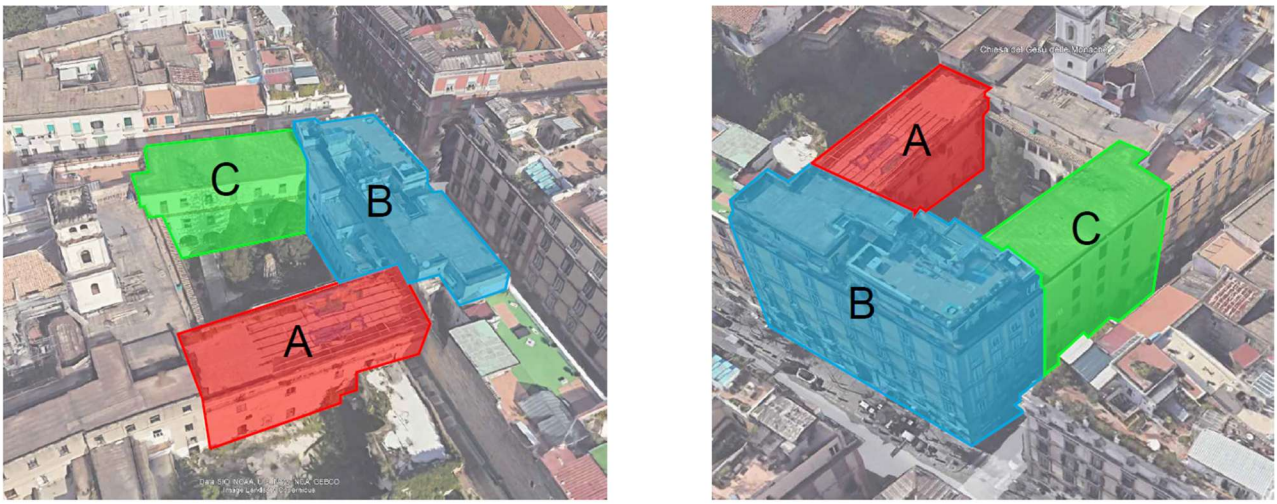
Nei paragrafi successivi vengono riportati gli interventi di progetto.

Individuazione unità strutturali

L'individuazione delle **Unità Strutturali (US)** secondo le **Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC 2018)** è un passaggio fondamentale nella valutazione della sicurezza sismica degli edifici esistenti, in particolare per quelli in muratura. Le US sono porzioni dell'edificio che presentano un comportamento strutturale autonomo o significativamente diverso rispetto al resto dell'edificio.

L'US dovrà avere continuità da cielo a terra, per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui strutturalmente ma, almeno tipologicamente, diversi.

Per il fabbricato in questione sono state individuate le unità strutturali riportate nelle immagini successive:



Inquadramento US

Progetto strutturale - generalità

Criteri di intervento

Come discusso nei paragrafi precedenti, le risultanze delle analisi condotte sul fabbricato, unitamente alle indagini ed alla campagna di rilievo eseguita, hanno permesso di mettere

in evidenza le notevoli carenze strutturali dell'edificio: la tipologia muraria, unitamente alla carenza di connessioni efficienti tra pareti trasversali determinano una forte vulnerabilità della costruzione nei confronti dell'azione sismica; a tali problematiche si aggiunge il degrado dei solai in ferro e tavelloni e, soprattutto, il pessimo stato della copertura del corpo B2 che, come discusso in seguito, sarà oggetto di abbattimento e ricostruzione.

Alla luce di tali aspetti, unitamente alle esigenze di rifunzionalizzazione del fabbricato, il progetto strutturale prevede la seguente strategia di intervento: **consolidamento della scatola muraria** mediante la realizzazione di connessioni a secco dei cantonali e dei martelli murari, consolidamento delle volte e posa in opera di piattabande metalliche al di sopra delle aperture; **demolizione orizzontamenti in putrelle e tavelloni** fortemente degradati e loro sostituzione con solai collaboranti in acciaio e calcestruzzo alleggerito con lamiera grecata; **consolidamento degli orizzontamenti** in ferro e tavelloni; **realizzazione di modifiche strutturali** consistenti in aperture di vani all'interno dei alcuni paramenti murari finalizzate alla rifunzionalizzazione dell'edificio ed alla realizzazione di nuovi spazi e, infine, **nuove realizzazioni** di scale in carpenteria metallica ed installazione di un impianto elevatore.



Inquadramento normativo degli interventi

Gli interventi oggetto della presente relazione di calcolo sono definiti quali **INTERVENTI LOCALI** in accordo con quanto riportato al par.8.4.1 delle NTC 2018.

Si riporta lo stralcio di normativa:

"*Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:*

- *ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;*
- *migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;*
- *impedire meccanismi di collasso locale;*

- *modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.*

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

Con riferimento alla succitata norma, infatti, gli interventi previsti in progetto riguarderanno singole parti della struttura senza andare a variare il comportamento globale della costruzione.

L'obiettivo della progettazione è quello di **migliorare le caratteristiche di resistenza e duttilità di elementi o parti anche non danneggiati**.

Classificazione dell'intervento

Gli interventi proposti e discussi nel seguito si configurano come **INTERVENTI LOCALI** in accordo con §8.4.1 delle NTC 2018 secondo cui "*il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati".*

Nei paragrafi che seguono vengono trattati i vari interventi strutturali; in particolare si prevedono:

- interventi di **consolidamento** degli elementi murari;
- interventi di **consolidamento** degli orizzontamenti;
- realizzazione di nuove **piattabande** in carpenteria metallica;
- **demolizione e ricostruzione orizzontamenti fortemente degradati**;
- **demolizione e ricostruzione coperture in legno**;

- **modifiche strutturali (cerchiature)** per esigenze architettoniche.

Omissione verifica geotecnica e fondazioni

Le NTC 2018 al §8.3 definiscono che "la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- Nella costruzione siano importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- Siano possibili fenomendi di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione;
- Sino possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovute alle azioni sismiche di progetto"

Le analisi effettuate sul fabbricato hanno scongiurato le condizioni elencate dalla normativa suddetta; inoltre, gli interventi di progetto discussi nei paragrafi successivi, non comportando modifiche di peso o di rigidezza del fabbricato, non si ritiene che possano generare fenomeni di instabilità globale, pertanto **si omette la verifica geotecnica e sulle fondazioni.**

Conclusioni

Le deformazioni e le tensioni risultanti dai calcoli attendono le verifiche agli stati limite, e sono conformi alla qualità dei materiali prescritti. Le ipotesi ed i risultati dei calcoli risultano conformi alle vigenti normative (D. M. 17.01.2018).

Napoli, 26.05.2025

Il progettista