

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 03c

Titolo elaborato

RELAZIONE SUI MATERIALI

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
c	06-2025	P.F.	G.L.	G.L.	terza 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:

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

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:

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

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.**

Caratteristiche dei materiali

Materiali esistenti

Muratura esistente – Muratura in pietra tenera

Per la determinazione delle caratteristiche della muratura in sito si è fatto ricorso al metodo dell'Indice di Qualità Muraria (**IQM**) alle prove con martinetti piatti singoli e doppi ed alle prove soniche.

Dalle indagini eseguite si è rilevata quale tipologia una muratura a conci regolari di pietra tenera.

Per il fabbricato in questione, sono state eseguite indagini in situ **estese**, quindi, in accordo con le disposizioni riportate nelle normative in vigore, si considera quanto segue:

- Resistenza: valori medi delle resistenze ottenute dalle prove;
- Moduli elastici: valori medi della tabella successiva.

Tabella C8.5.I -*Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:* **f** *= resistenza media a compressione,* τ_0 *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* f_{v0} *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* **E** *= valore medio del modulo di elasticità normale,* **G** *= valore medio del modulo di elasticità tangenziale,* **w** *= peso specifico medio.*

Tipologia di muratura	f (N/mm²)	τ_0 (N/mm²)	f_{v0} (N/mm²)	E (N/mm²)	G (N/mm²)	w (kN/m³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es,: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione fpuò essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

fig. 3 - Valori di riferimento parametri meccanici della muratura

Si utilizzano, pertanto, i seguenti parametri:

MURATURA A CONCI REGOLARI DI PIETRA DI TUFO

f=resistenza a compressione	2,12 N/mm^2
f_{v0}=resistenza a taglio	0,145 N/mm^2
E=modulo elastico	1410 N/mm^2
G=modulo di elasticità tangenziale	450 N/mm^2
w=peso specifico	14,5 kN/m^3

- **Resistenze di calcolo e coefficienti di sicurezza**

Le resistenze di progetto impiegate per le verifiche a compressione, pressoflessione e a carichi concentrati (f_d), e a taglio (f_{vd}) valgono:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M}$$

Dove:

f_k è la resistenza caratteristica a compressione della muratura;

f_{vk} è la resistenza caratteristica a taglio della muratura in presenza delle effettive tensioni di compressione

γ_m è il coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura, comprensivo delle incertezze di modello e di geometria, in funzione delle classi di esecuzione e a seconda che gli elementi resistenti utilizzati siano di categoria I o di categoria II.

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria **I**, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria **I**, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria **II**, ogni tipo di malta	2,5	3,0

Per i calcoli si adopera un valore di γ_M = 3,0.

Per le verifiche nei riguardi delle azioni sismiche si è adoperato un coefficiente γ_M=2.

Calcestruzzo

La campagna di indagine ha previsto l'esecuzione di n°2 carotaggi su elementi strutturali oltre alle prove non distruttive (Son-Reb e prova pacometrica). Come detto, le prove sono state eseguite dalla società ISTEMI s.r.l.

Si riporta di seguito la tabella riguardante le prove a compressione eseguite sui provini estratti:

Matricola Laboratorio	Sigla provino	Ubicazione provini	Data prelievo	Dimensioni [mm] Ø	Dimensioni [mm] H	Massa [kg]	Massa volumica [kg/m³]	Sezione Resistiva [mm²]	Carico di rottura [kN]	Tensione di rottura [MPa]	Data prova	Rottura (**)	Rettifica (*)
300C/001	C06	Pilastro piano terra	29/05/23	74,1	79,2	0,676	1977	4318	35,85	8,3	19/06/23	S	1
300C/002	C25	Trave piano primo	29/05/23	74,4	79,3	0,677	1964	4347	37,57	8,6	19/06/23	S	1

fig. 4 - Prove a compressione su calcestruzzo

Dalla media tra i valori dei provini estratti si ottiene un calore della resistenza in sito a **8,4 N/mm²**

Nei calcoli si considera un calcestruzzo di classe **C8/10**.

Acciaio per c.a.

Ai fini della caratterizzazione della resistenza dell'acciaio, si riportano di seguito i valori delle prove distruttive effettuate sugli spezzoni di barre di armatura estratti in situ e testati in laboratorio. I risultati ottenuti consentono di classificare la tipologia e qualità dell'acciaio utilizzato per la costruzione dell'edificio in esame. I valori delle tensioni di snervamento e di rottura sono riportati nelle tabelle che seguono:

Matricola laboratorio	Sigla di prelievo	Ubicazione provini	Data di Prelievo	Diametro nom. Ø	Diametro eqp Ø	Sezione Resistiva [mm²]	Tensione di snervamento f_y [MPa]	Tensione di Rottura f_t [MPa]	f_t / f_y	f_y / f_{ynom}	A_{gt} [%]	Tipo di barra	Data di prova
300C/003	A25	Trave piano primo	29/05/2023	16	15,9	201	419	614	1,47	----	15,4	a.m.	14/06/2023
300C/004	A06	Pilastro piano terra	29/05/2023	12	16,1	113	281	389	1,38	----	17,6	b.l.	14/06/2023

fig. 5 - Risultati prove su tondini

La media dei valori ottenuti dalle prove di laboratorio restituisce:

- **Tensione di snervamento f_y = 350 MPa**
- **Tensione di rottura f_t = 501,5 MPa**
- **Allungamento = 16,5 %**

La normativa relativa alla classificazione degli acciai di armatura vigente al momento della costruzione (ampliamento) era la Circolare del Ministero dei LL.PP. 23.05.1957 n°1472 che prevedeva la seguente classificazione dell'acciaio di armatura:

	Aq42	Aq50	Aq60
Snervamento (kgf/mm^2)	≥ 23	≥ 27	≥ 31
Rottura (kgf/mm^2)	42 - 50	50 - 60	60 - 70
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14

fig. 6 - Classificazione degli acciai di armatura secondo Circolare Ministero dei LL.PP. n°1472/1957

Confrontando i valori di prova con le indicazioni di progetto, le normative vigenti al momento della costruzione e con i parametri statistici riportati nell'articolo "Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate dal 1950 al 1980" a cura di Gerardo Mario Verderame, Paolo Ricci, Marilena Esposito e Filippo Carlo Sansiviero del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, si può considerare che l'acciaio utilizzato per l'edificio in oggetto sia di tipo **acciaio ad liscio tipo Aq42**.

Se ne riportano di seguito le caratteristiche meccaniche:

ACCIAIO LISCIO Aq42

Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	>230 N/mm^2
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	420 N/mm^2
Allungamento	>20%

Si ribadisce che a tutte le caratteristiche di resistenza dei materiali desunte dalla campagna di prove sono stati applicati i "fattori di confidenza" relativi al "livello di conoscenza" raggiunto.

Materiali di progetto

Muratura

Ove necessario si prevede di integrare la muratura esistente con una muratura con caratteristiche similari a quella esistente.

Conglomerato cementizio C25/30

Il calcestruzzo da impiegare per gli elementi in cemento armato sarà del tipo C25/30. L'impasto costituente il calcestruzzo, che si andrà ad impiegare per la realizzazione dei nuovi elementi strutturali, vedrà l'utilizzo di inerti, naturali o di frantumazione, costituiti da elementi non gelivi e non friabili, privi di sostanze organiche, limose ed argillose, di gesso ecc., in proporzioni nocive all'indurimento del conglomerato od alla conservazione delle armature. La ghiaia o il pietrisco avranno dimensioni massime commisurate alle caratteristiche geometriche della carpenteria del getto ed all'ingombro delle armature. L'acqua per gli impasti sarà limpida, priva di sali (particolarmente solfati e cloruri) in percentuali dannose e non aggressiva. Il quantitativo d'acqua sarà il minimo necessario a consentire una buona lavorabilità del conglomerato tenendo conto anche dell'acqua contenuta negli inerti. Il rapporto massimo acqua/cemento dovrà essere pari a 0,60. Il contenuto minimo di cemento dovrà essere di 300kg/m^3. Il diagramma di calcolo tensioni-deformazioni del calcestruzzo (legame costitutivo) adottato è quello parabola-rettangolo.

In definitiva i valori assunti sono:

CALCESTRUZZO C 25/30

Resistenza cubica caratteristica	R_{ck} = 30 MPa

Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck} = 24,90 MPa
Resistenza cilindrica di calcolo	f_{cd} = 16,60 MPa
Modulo elastico	E = 31447 MPa
Classe di esposizione ambientale	XC2 – Bagnato, raramente asciutto
Massimo rapporto a/c	0,60
Dosaggio minimo di cemento	300 kg/m^3

- **Durabilità del calcestruzzo**

Per garantire il requisito di durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si delineano qui di seguito le condizioni ambientali del sito dove sorgerà la costruzione. Tali condizioni possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III delle NTC 2018, con riferimento alle classi di esposizione definite nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE

Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Il prospetto delle classi di esposizione in funzione delle condizioni ambientali è quello riportato nella UNI EN 206-1 Facendo riferimento a quanto indicato negli estratti normativi

per l'individuazione e la classificazione delle condizioni ambientali, il sito di realizzazione dell'opera è classificabile come:

XC2

Le opere in c.a. risultano sufficientemente schermate in misura delle variazioni termoigrometriche previste. In termini di protezione contro la corrosione delle armature metalliche l'ambiente è quindi definito come "**Ordinario**".

- **Copriferro minimo e regole di maturazione**

In fase di progetto vengono quindi prescritti, ai fini della durabilità dell'opera, i valori di copriferro minimo e le regole di maturazione del calcestruzzo impiegato.

In funzione delle verifiche di resistenza e degli stati limite di fessurazione viene indicato come valore minimo di copriferro:

c = 4 cm

Per la fase di maturazione del calcestruzzo, oltre ad indicare il rispetto della buona pratica costruttiva e delle consuete regole di realizzazione del getto, è indicata una velocità 'MEDIA' di sviluppo della resistenza ed una maturazione della superficie del calcestruzzo in 3 giorni.

Acciaio per calcestruzzo B450C

Si prevede l'utilizzo di acciaio per calcestruzzo tipo B450. Di seguito se ne riportano le caratteristiche.

Acciaio B450C

Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	5400 daN/cm^2

Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	4500 daN/cm^2
Tensione di snervamento di calcolo f_{yd}	3913 daN/cm^2

Acciaio S275

Si prevede l'utilizzo di acciaio S275; di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche:

Acciaio per carpenteria metallica S275

Modulo elastico	2100000 daN/cm^2
Coefficiente di Poisson	0,30
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}=4300 daN/cm^2
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}=2750 daN/cm^2

Acciaio S355

Si prevede l'utilizzo di acciaio S355; di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche:

Acciaio per carpenteria metallica 355

Modulo elastico	2100000 daN/cm^2
Coefficiente di Poisson	0,30
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}=5100 daN/cm^2
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}=3550 daN/cm^2

Perni e bulloni ad alta resistenza 8.8

PERNI E BULLONI AD ALTA RESISTENZA 8.8

Tensione di snervamento	f_{yb}=6490 daN/cm^2

Tensione di rottura	f_{tb}=8000 daN/cm^2

Malta cementizia per rinforzo estradossale solaio (tipo PLANITOP HPC FLOOR della MAPEI®)

Per il rinforzo estradossale dei solai si prevede l'utilizzo di una malta cementizia ad elevatissime prestazioni meccaniche, a ritiro compensato fibrorinforzata con fibre in acciaio e ad elevata duttilità tipo PLANITO HPC FLOOR della MAPEI®. Se ne riportano di seguito le caratteristiche meccaniche:

MALTA CEMENTIZIA PER RINFORZO ESTRADOSSALE SOLAIO

Resistenza caratteristica a compressione f_{ck}	80 MPa
Resistenza caratteristica a trazione per flessione f_{ftuk}	3,11 MPa
Tensione tangenziale caratteristica interfaccia τ_k	3,40 MPa
Modulo elastico E_c	44400 MPa
Deformazione ultima ε_{cu}	0,35 %
Coefficiente di sicurezza FRC γ_c	1,5
Resistenza di progetto a compressione f_{cd}	45,33 MPa
Resistenza di progetto a trazione per flessione f_{ftud}	2,07 MPa
Tensione di progetto interfaccia τ_d	2,27 MPa

Ancorante chimico per collegamento con muratura perimetrale (tipo MAPEFIX VE SF della MAPEI®)

Per l'inghisaggio delle barre di collegamento perimetrale nell'ambito del consolidamento estradossale dei solai in putrelle e tavelloni si prevede l'utilizzo di un fissaggio chimico tipo MAPEFIX VE SF della MAPEI®. Se ne riportano le caratteristiche tecniche:

ANCORANTE CHIMICO

Resistenza a compressione	100 MPa
Resistenza a flessione	15 MPa
Modulo elastico	14000 MPa

Barre elicoidali in acciaio INOX AISI 304/316 diametro 10 mm per cucitura a secco di elementi strutturali (tipo STEEL DRYFIX® della KERAKOLL)

Per le cuciture delle murature si prevede l'utilizzo di barre elicoidali in acciaio INOX AISI 304/316 di diametro ϕ10 tipo STEEL DRYFIX® della Kerakoll.

Se ne riportano le caratteristiche tecniche:

BARRE ELICOIDALI IN ACCIAIO INOX

Diametro nominale	ϕ10
Area nominale barra	A_{elica} = 15,5 mm^2
Carico di rottura a trazione	N>16.2 kN
Carico di rottura a taglio della barra	T>9,5 kN
Resistenza a trazione in campo elastico	σ>700 MPa
Modulo elastico barra	E_{barra}>150 GPa

Deformazione a rottura barra	ε_{barra}>3%

Malta cementizia e rete in fibra di vetro per sistema anti-sfondellamento solai

Per il sistema anti sfondellamento dei solai si prevede l'utilizzo di una malta cementizia premiscelata bicomponente fibrorinforzata ad elevata duttilità tipo PLANITOP HDM MAXI® della MAPEI in abbinamento ad una rete in fibra di vetro A.R. alcali resistente tipo MAPEGRID G120® della MAPEI. Se ne riportano di seguito le caratteristiche meccaniche:

MALTA CEMENTIZIA FIBRORINFORZATA

Resistenza a compressione	>25 MPa
Resistenza a flessione	>8 MPa
Modulo elastico a compressione	10 GPa

RETE IN FIBRA DI VETRO

Tipo di fibra	Fibre di vetro A.R.
Resistenza a trazione	>30 kN/m
Modulo elastico	72 GPa
Allungamento a rottura	1,8%

Geomalta strutturale e tessuto unidirezionale in fibra di acciaio

Per il sistema di rinforzo delle volte in muratura si prevede l'utilizzo di una geomalta strutturale di pura calce naturale (tipo GEOCALCE F ANTISISMICO® della KERAKOLL) abbinata ad un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio fissati su una microrete in fibra di vetro (tipo GEOSTEEL G600). Se ne riportano di seguito le caratteristiche:

GEOMALTA STRUTTURALE

Resistenza a compressione	Categoria M15
Resistenza a taglio	>1 MPa
Adesione a supporto	>1 MPa
Modulo elastico	9 GPA

TESSUTO UNIDIREZIONALE IN FIBRA DI ACCIAIO

Resistenza a trazione	3000 MPa
Modulo elastico	200 GPa
Allungamento a rottura	1,90%

Malta cementizia fibrorinforzata

Per il consolidamento estradossale dei solai in putrelle e tavelloni si prevede l'utilizzo di una malta cementizi fibrorinforzata ad elevate prestazioni tipo **Planitop HPC Floor®** della Mapei. Se ne riportano le caratteristiche meccaniche desunte dalla scheda tecnica del produttore.

MALTA CEMENTIZIA FIBRORINFORZATA

Classe di resistenza a compressione	C80/95
Classe di tenacità	8.0c
Modulo elastico	44400.0 MPa
Resistenza cilindrica caratteristica f_{ck}	60 Mpa
Resistenza di progetto f_{cd}	40 Mpa

Resistenza a trazione F_{ftuk}	3.11 MPa
Resistenza a trazione di progetto F_{ftud}	2.07 Mpa
Spessore di applicazione h_c	30.0 mm

Napoli, 04.06.2025

Il progettista