

COMUNE DI RIMINI

PROVINCIA DI RIMINI

COMMITTENTE : COMUNE DI RIMINI

OGGETTO : RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA RELATIVA ALLA
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA
NUOVA SEDE "ISTITUTO ALBERTI" DEL COMUNE DI
RIMINI, VIA TAMBRONI n. 24

	RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA	TAVOLA RT
--	--------------------------------	---------------------



INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. DESCRIZIONE DEL CONTESTO EDILIZIO E DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEL SITO D'INTERVENTO	2
3. NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI TECNICI UTILIZZATI	3
4. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA E VALUTAZIONI DELLO STATO DI FATTO	4
4.1. ANALISI STORICO - CRITICA DELLA STRUTTURA	15
4.2. RILIEVO GEOMETRICO - STRUTTURALE	15
4.3. DETTAGLI COSTRUTTIVI	16
4.4. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI	16
4.4.1. INDAGINE ENDOSCOPICA	16
4.4.2. INDAGINI SUL CALCESTRUZZO	17
4.4.3. INDAGINI SULL'ACCIAIO D'ARMATURA	19
4.5. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA	19
5. ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE	21
6. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	27
6.1. METODO DI ANALISI	30
7. RESOCONTO DELLE VERIFICHE PER CARICHI GRAVITAZIONALI	33
7.1. VALUTAZIONE DEI CARICHI VERTICALI E COMBINAZIONI DI PROGETTO	33
7.2. REGOLARITA' DELLA STRUTTURA	39
7.3. PERIODI FONDAMENTALI E MASSE PARTECIPANTI	40
7.4. CAPACITA' - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA SOSTENIBILE	40
7.5. DOMANDA - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA ATTESA	40
7.6. INDICATORI DI RISCHIO SISMICO	40
8. ACCELERAZIONI SISMICHE DI COLLASSO SU BEAM E SHELL	41
9. PROPOSTA DI EVENTUALI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO	46

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione sono riportati i risultati dell'analisi di vulnerabilità eseguita per la nuova sede dell' "Istituto Alberti", edificio scolastico ubicato nel Comune di Rimini (RN) in via Tambroni n.24 – 47923 Rimini. A valle delle verifiche e analisi della struttura, si riportano i suddetti risultati.

2. DESCRIZIONE DEL CONTESTO EDILIZIO E DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEL SITO D'INTERVENTO

Si propone di seguito in Figura 2.1 la vista satellitare cui si evince il contesto urbano e territoriale.

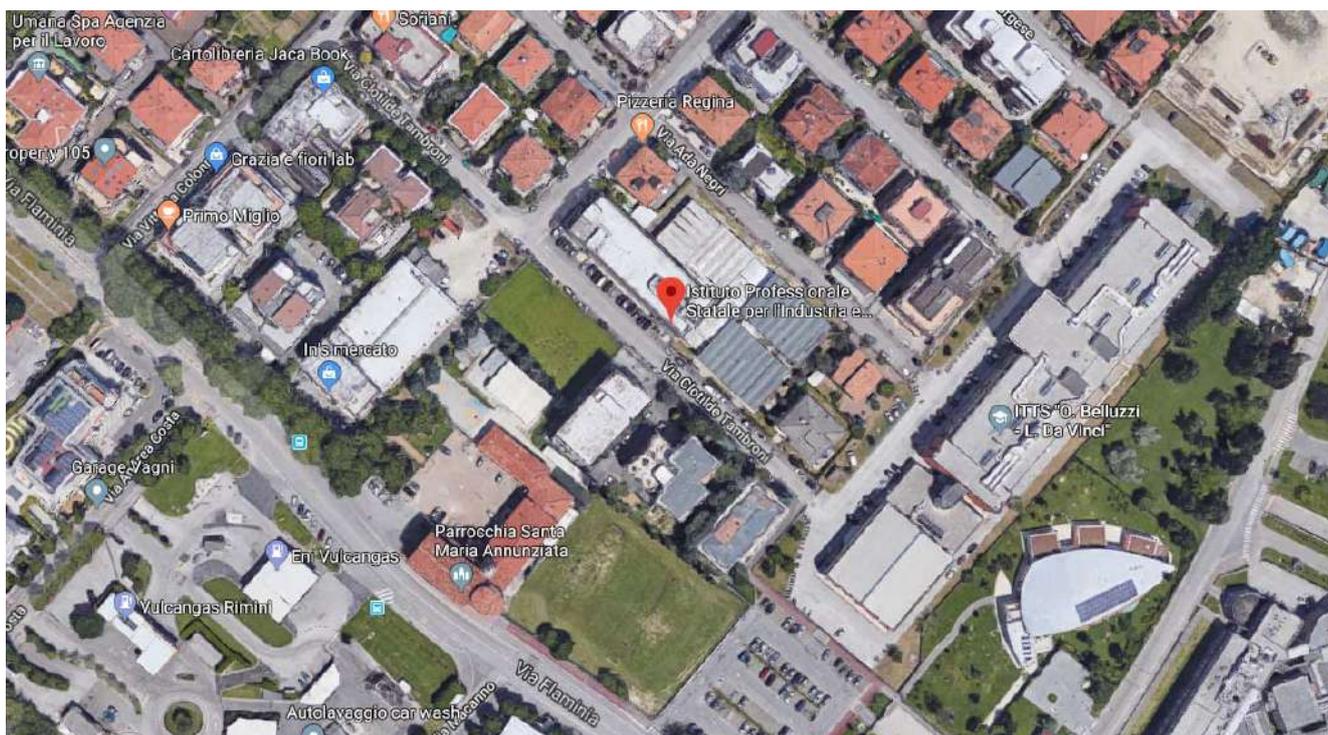


Figura 2.1 – Vista satellitare del sito.

4. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA E VALUTAZIONI DELLO STATO DI FATTO

Il fabbricato oggetto di analisi è situato nel Comune di Rimini (RN) e con destinazione d'uso scolastica. E' importante sottolineare che il fabbricato è da tempo remoto utilizzato come Istituto Scolastico, e da ricerche effettuate presso l'archivio del Comune di Rimini e della Azienda AUSL di Rimini non si è rilevata la presenza di pratiche edilizie ad eccezione di documentazione inerente a opere di manutenzione straordinaria (anno 1970 sistemazione di recinzione esterna e centrale termica), intervento che non fa riferimento a nessun precedente amministrativo. Essendo la caratteristica tipologica costruttiva e d'uso del fabbricato destinato a scuola, occorre comunque salvaguardare quanto già esistente ed adeguarlo alle norme attuali. Considerando la tipologia e le tecniche costruttive, l'immobile risulta realizzato verso la metà degli anni '60 ed è costituito da due corpi di fabbrica, collegati al piano terra, aventi diverse tecnologie costruttive. L'edificio ha pianta rettangolare con lati di dimensione 82 m x 37 m ed è composto da tre piani fuori terra e da un piano seminterrato, con struttura in elevazione a telaio bidirezionale di travi e pilastri in calcestruzzo armato con muratura di tamponamento in laterizio. In seguito ad indagini diagnostiche nell'anno 2010 effettuate dalla ditta Tecno Indagini con metodo Sonispect, si deduce che l'intradosso dei solai dell'edificio ad uso prettamente scolastico è classificabile come struttura mista ottenuta dall'assemblaggio di cemento armato con funzione prevalentemente resistente e di laterizio con funzione prevalentemente di alleggerimento. Questo solaio in laterocemento è realizzato con travetti semiprefabbricati tipo "bausta" e blocchi interposti. La parte resistente della soletta ha uno spessore complessivo di circa 22 cm dati dalla dimensione della pignatta di 18 cm, più circa 4 cm di soletta di completamento. È presente all'intradosso uno strato di intonaco che mediamente ha uno spessore piuttosto elevato da 1,00 cm fino ad oltre 2,50 cm; l'interasse tra i travetti è di 51 cm. Nel solaio in oggetto la qualità dei travetti appare buona, con un getto compatto e ferri sufficientemente annegati. I travetti hanno una larghezza, misurata alla base, di circa 13 cm. La parte rimanente della soletta è stata realizzata in opera insieme al getto di completamento in calcestruzzo. Nel solaio in oggetto la pignatta non collabora alla resistenza del solaio, infatti, non presenta la parte superiore rinforzata.

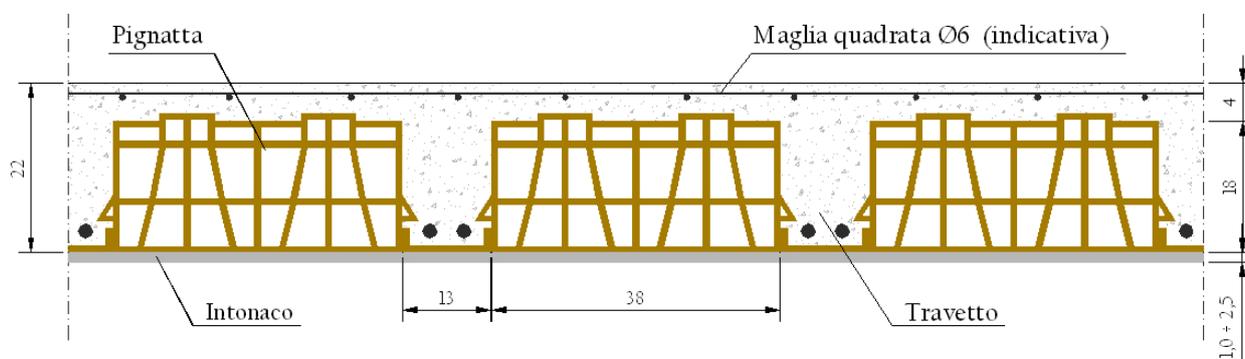


Figura 4.1 – Tipologia solai piano interrato, terra, primo, secondo

Questa tipologia di solaio è stata osservata ai piani interrato, terra, primo e secondo, mentre al terzo piano è stato osservato un solaio, seppur analogo, ma con una leggera differenza nella dimensione delle pignatte. Infatti al terzo piano la parte resistente della soletta ha uno spessore complessivo di circa 25 cm dati dalla dimensione della pignatta di 21 cm, più circa 4 cm di soletta di completamento. È presente all'intradosso uno strato di intonaco che mediamente ha uno spessore pari a 1,00÷1,50 cm e l'interasse tra i travetti è di 45 cm. Anche in questo solaio la pignatta non collabora alla resistenza del solaio, infatti, non presenta la parte superiore rinforzata.

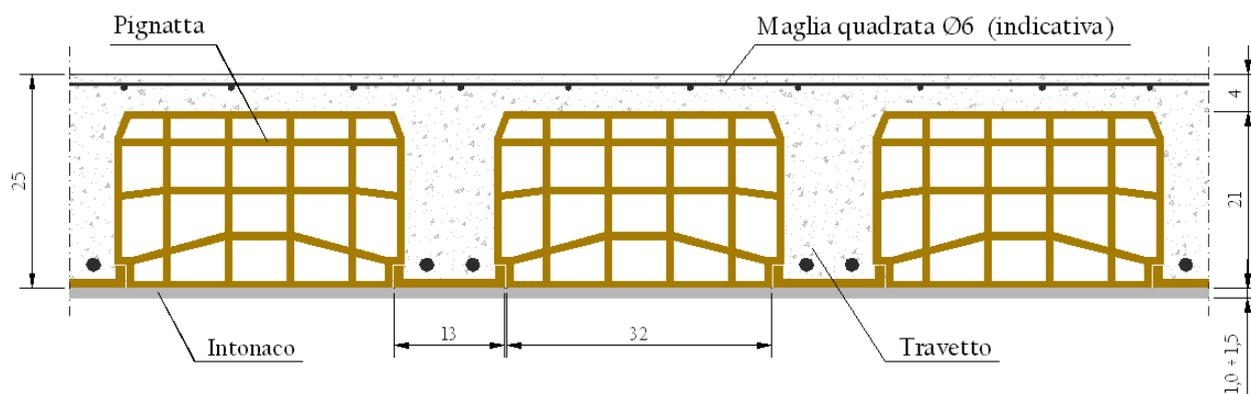


Figura 4.2 – Tipologia solaio piano terzo

Adiacente all'edificio ad uso scolastico è stato realizzato un secondo corpo per attività didattiche, precedentemente usato come palestra, che si sviluppa unicamente al piano terra. Il telaio è composto da elementi portanti prefabbricati in calcestruzzo debitamente armati e con tamponature esterne realizzate anch'esse con pannelli prefabbricati. Il solaio di copertura del fabbricato precedentemente destinato ad attività ginniche, è realizzato con elementi portanti del tipo prefabbricato. Planimetricamente gli edifici sono collegati tramite un percorso interno unicamente al piano terra. Gli edifici hanno copertura piana accessibile esclusivamente per l'edificio ad uso didattico. Le fondazioni esistenti dell'edificio ad uso scolastico, sono costituite da un reticolo di travi in cemento armato bidirezionali, mentre quelle del corpo di fabbrica precedentemente destinato ad uso palestra, sono costituite da plinti in cemento armato collegati tra loro da un reticolo di travi anch'esse bidirezionali.



Figura 4.3 – Vista del fronte Sud



Figura 4.4 – Vista del fronte Sud



Figura 4.5 – Vista del fronte Sud



Figura 4.6 – Vista del fronte Sud Est



Figura 4.7 – Vista del fronte Nord



Figura 4.8 – Vista del fronte Nord



Figura 4.9 – Vista del fronte Nord

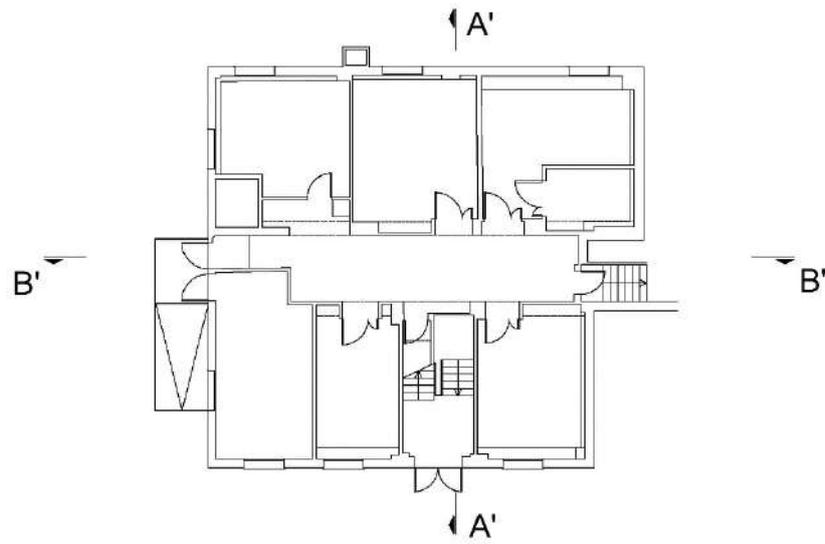


Figura 4.10 – Pianta piano interrato

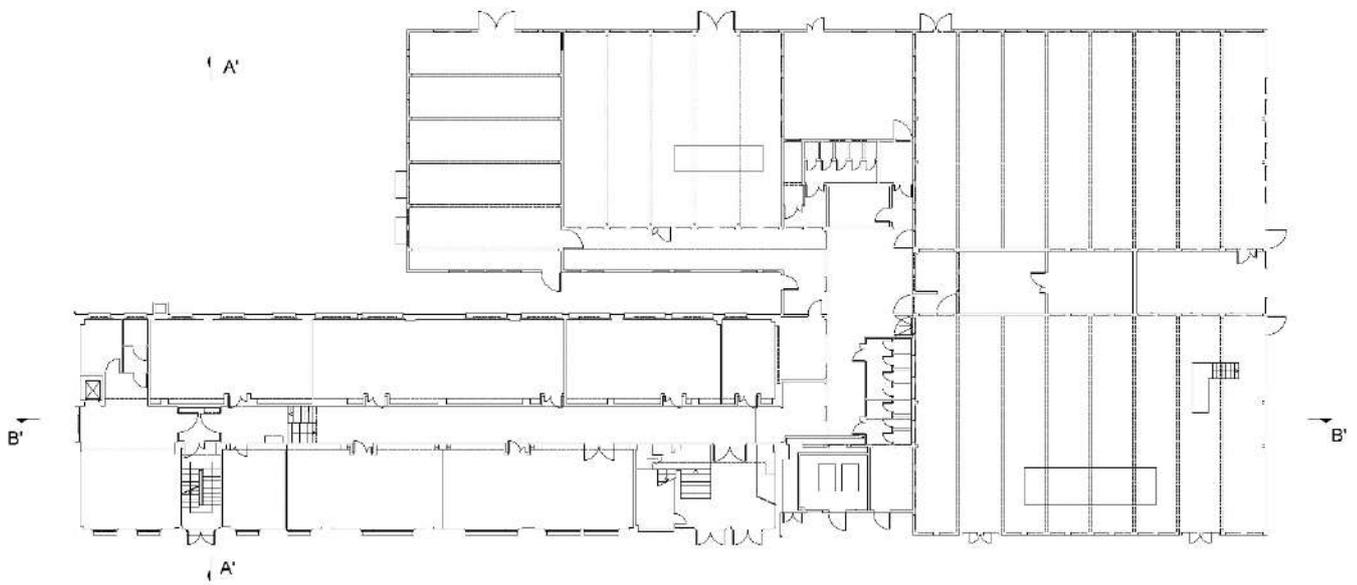


Figura 4.11 – Pianta piano terra

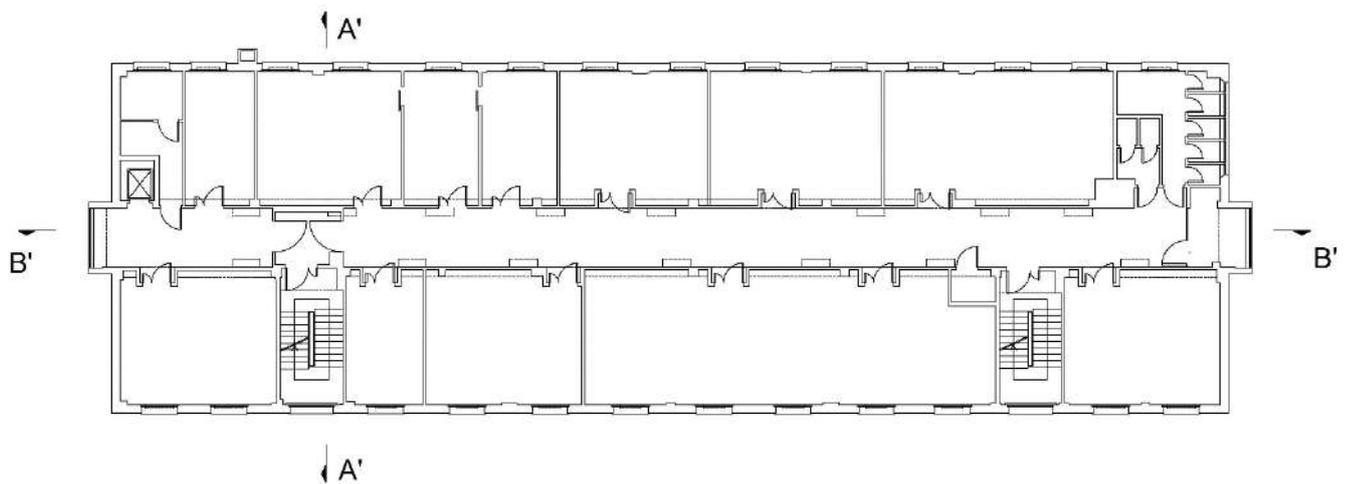


Figura 4.12 – Pianta piano primo

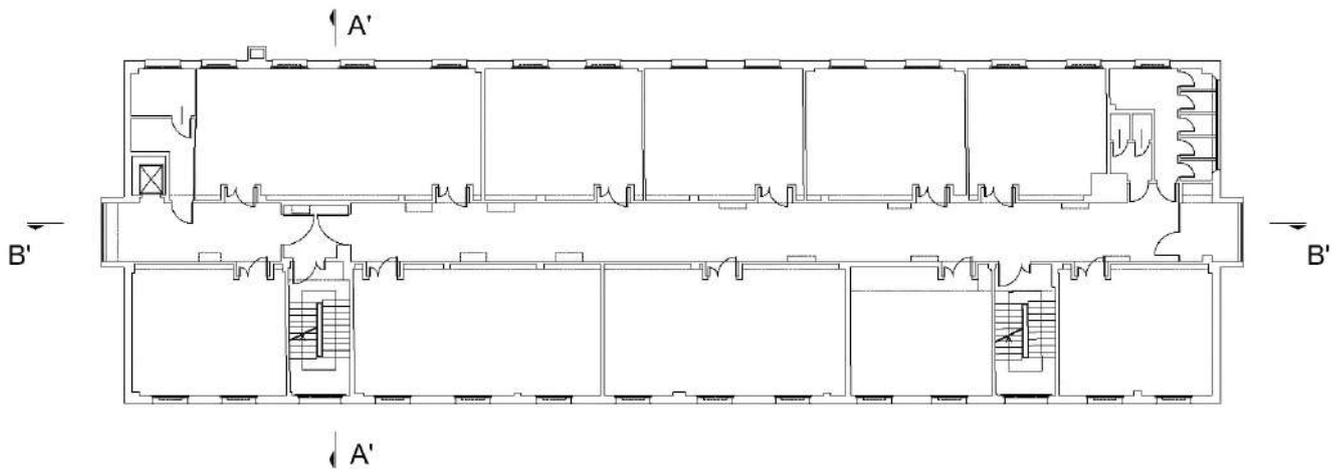


Figura 4.13 – Pianta piano secondo

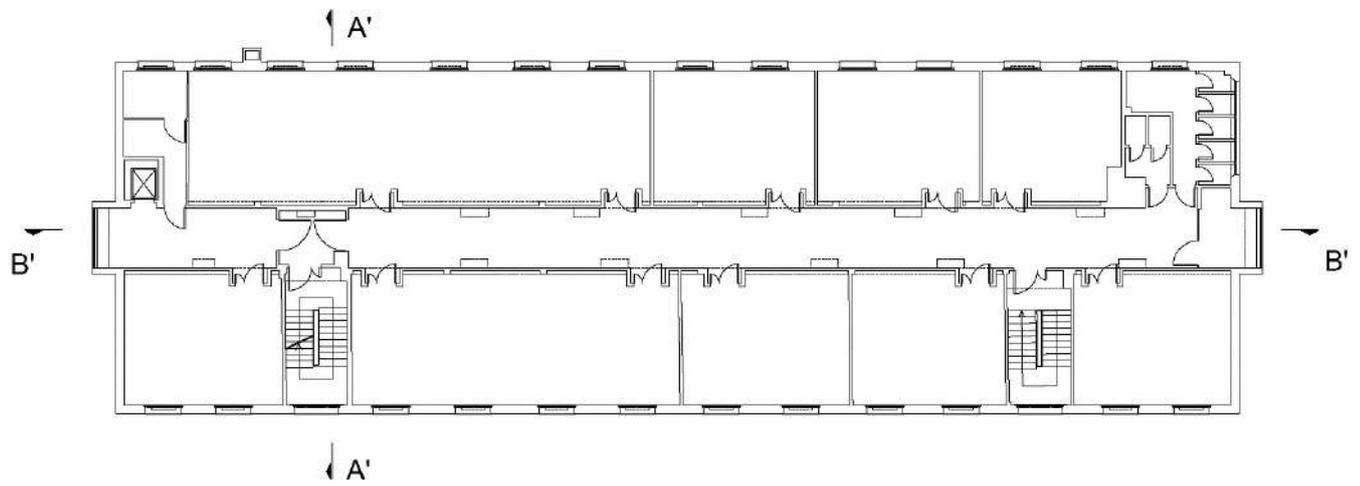


Figura 4.14 – Pianta piano terzo

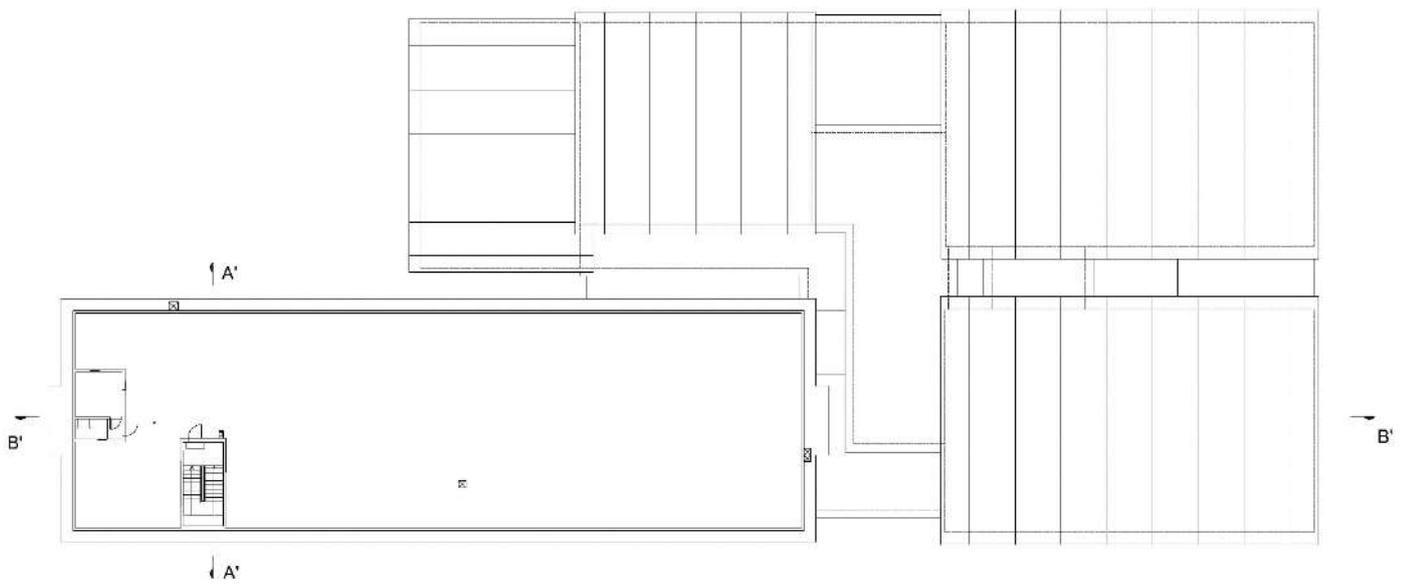


Figura 4.15 – Pianta piano di copertura

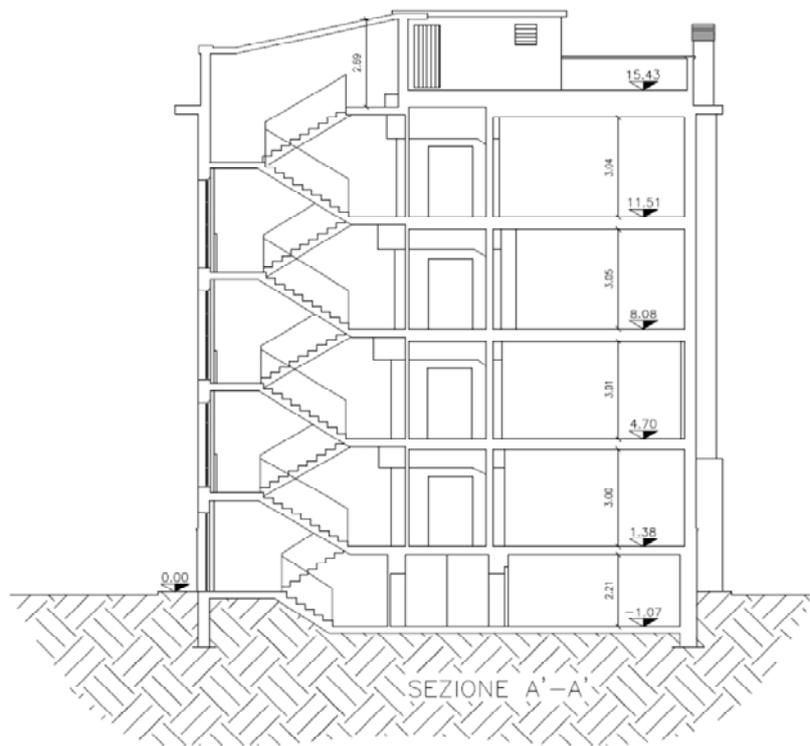


Figura 4.16 – Sezione A'-A'

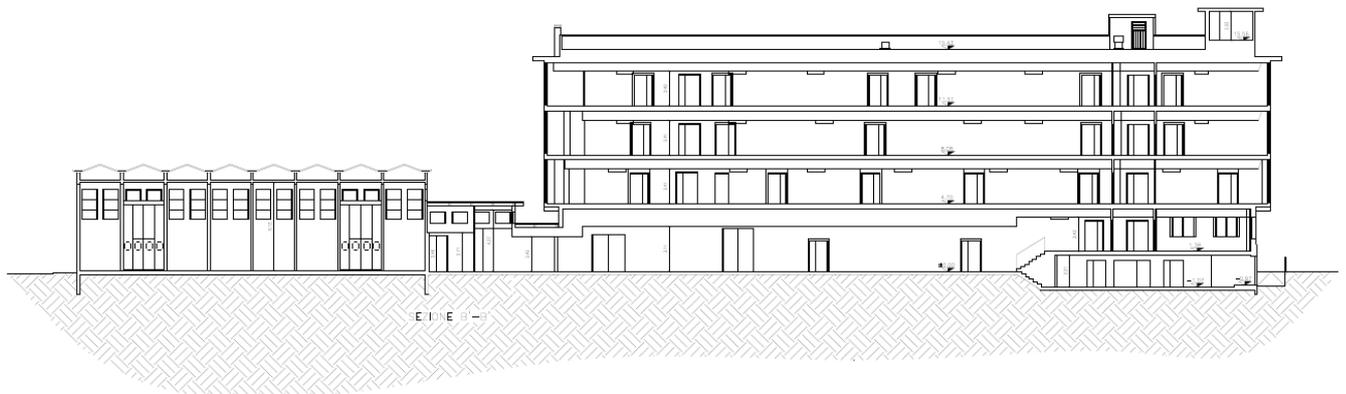


Figura 4.17 – Sezione B'-B'

Vengono riportate di seguito due viste assonometriche contrapposte del modello strutturale, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:

Vista Anteriore

La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale O, X, Y, Z , ha versore $(1;1;-1)$

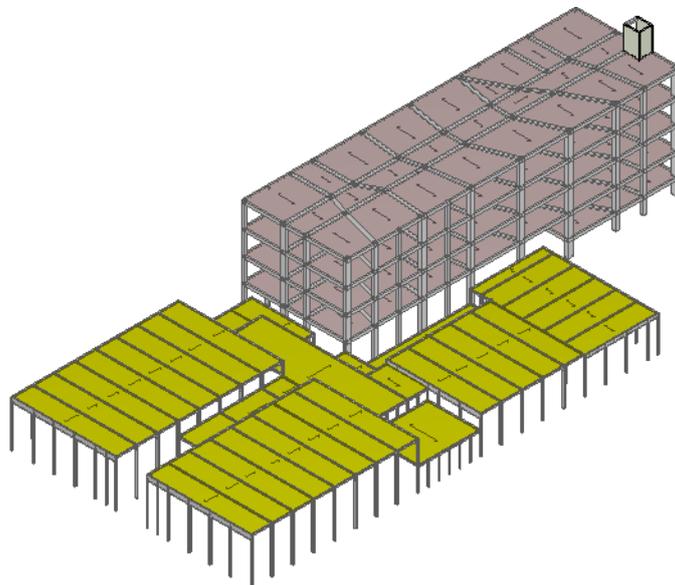


Figura 4.18 – Vista anteriore modello strutturale

Vista Posteriore

La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale O, X, Y, Z , ha versore $(-1;-1;-1)$

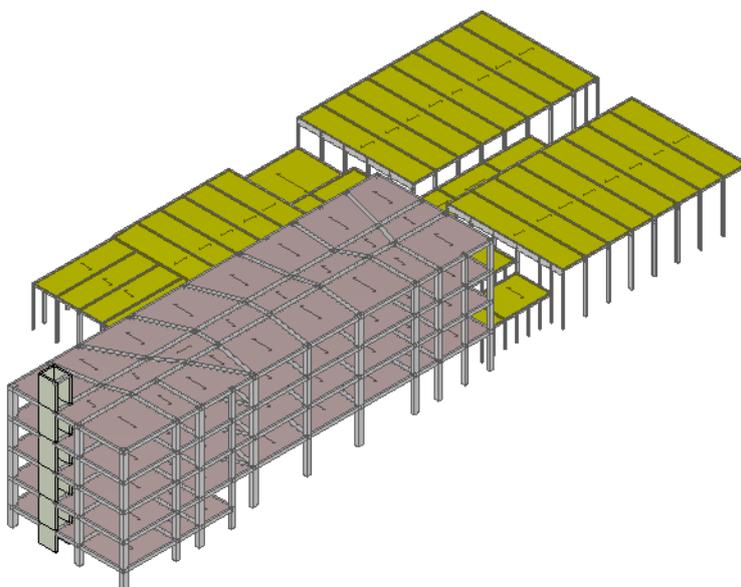
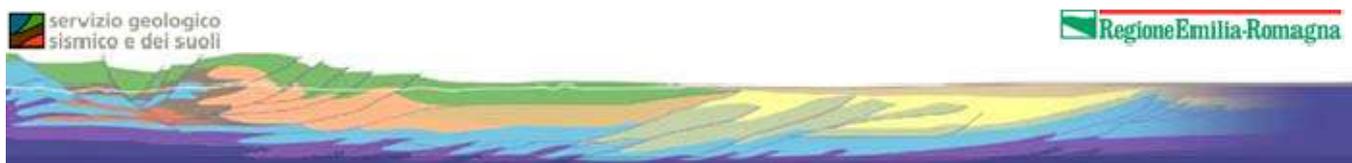
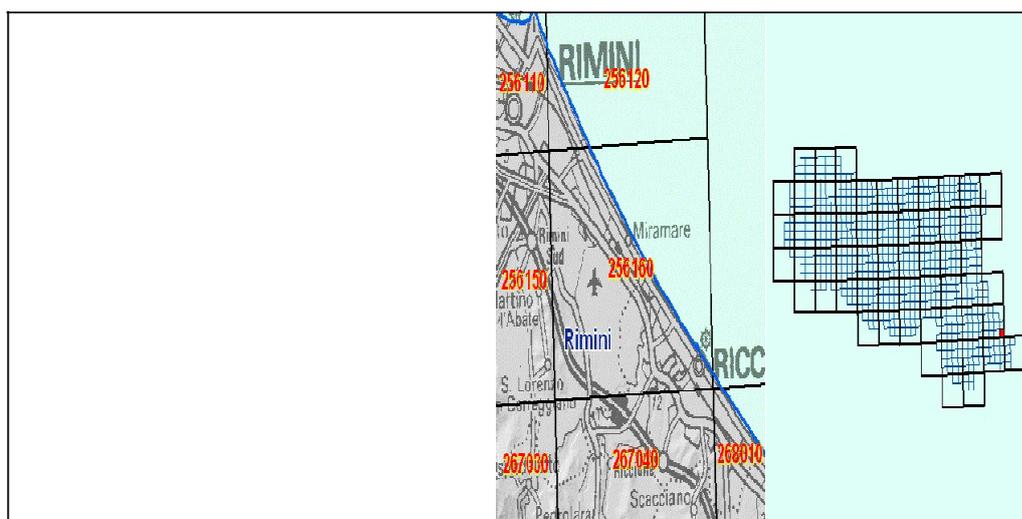


Figura 4.19 – Vista posteriore modello strutturale

Per valutare la situazione geologica e morfologica del sito, nonché il contesto edilizio, non si hanno a disposizione prove specifiche. Le caratteristiche del terreno sono stimate seguendo la Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna.

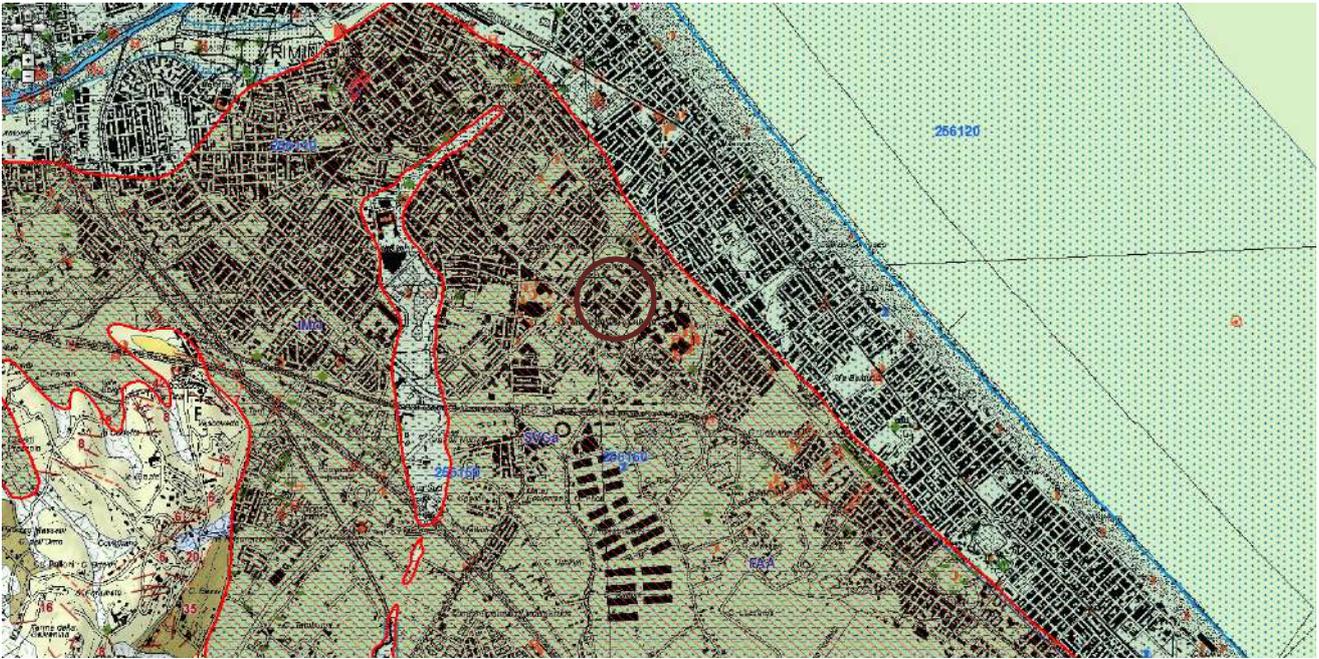


LEGENDA DELLA SEZIONE CARTOGRAFICA: 256160 - RICCIONE MARINA



Comune di RIMINI (RN), sezione CTR: 256160

zoom	
Ambienti deposiz. e litologie (10K)	data di ultima modifica 21/NOV/2007
Limo Argilloso Sabbioso - Piana alluvionale	sigla AES8
Coperture quaternarie (10K)	legenda AES8 - Subsistema di Ravenna
AES8 - Subsistema di Ravenna	nome Subsistema di Ravenna
Unità geologiche (10K)	tessitura Limo Argilloso Sabbioso
IMO - Sabbie di Imola	sigla tessitura LAS
	ambiente Piana alluvionale
	deposito Piana alluvionale
	legenda tessitura Limo Argilloso Sabbioso - Piana alluvionale



AES8 - Subsistema di Ravenna:

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7.

(Pleistocene sup. - Olocene)

Non avendo a disposizione una caratterizzazione geologica del terreno, si è operato in favore di sicurezza considerando i seguenti parametri per la caratterizzazione del sottosuolo e topografica (secondo quanto esposto nel par. 3.2.2 del DM2018):

- **Categoria di sottosuolo: C** (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti);
- **Categoria topografica: T1** (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$).

Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tab. 3.2.II D.M. 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

La scelta di queste categorie determina i parametri da utilizzare nel calcolo dell'azione sismica, e conseguentemente il sistema di interazione fra terreno e struttura.

4.1. ANALISI STORICO - CRITICA DELLA STRUTTURA

Il fabbricato è da tempo remoto utilizzato come Istituto Scolastico, e da ricerche effettuate presso l'archivio del Comune di Rimini e della Azienda AUSL di Rimini non si è rilevata la presenza di pratiche edilizie ad eccezione di documentazione inerente a opere di manutenzione straordinaria (anno 1970 sistemazione di recinzione esterna e centrale termica), intervento che non fa riferimento a nessun precedente amministrativo. Essendo la caratteristica tipologica costruttiva e d'uso del fabbricato destinata a scuola, occorre comunque salvaguardare quanto già esistente ed adeguarlo alle norme attuali. Considerando la tipologia e le tecniche costruttive, l'immobile risulta realizzato verso la metà degli anni '60 ed è costituito da due corpi di fabbrica, collegati al piano terra, aventi diverse tecnologie costruttive.

4.2. RILIEVO GEOMETRICO - STRUTTURALE

E' stato eseguito un rilievo geometrico strutturale procedendo dal piano seminterrato fino alla copertura al fine di verificare la corrispondenza con gli elaborati a disposizione. Sono stati svolti sopralluoghi in sito per prendere coscienza delle caratteristiche della struttura e del contesto urbano e geomorfologico nel quale è inserita.

I sopralluoghi sono stati svolti con lo scopo di individuare la tipologia strutturale, le caratteristiche geometriche e statiche e le funzioni da esso svolte, di accertare preliminarmente lo stato di conservazione dell'immobile e l'eventuale presenza di situazioni di dissesto. Il rilievo geometrico è stato affiancato da una campagna di fotografie dell'esterno (morfologia del terreno e interazione del fabbricato, particolarità, qualità e conservazione delle finiture delle facciate) e dell'interno.

Descrizioni dei degradi e dei dissesti. Premesso che le indicazioni sui dissesti derivano principalmente dall'osservazione delle fessurazioni e delle lesioni presenti negli elementi portanti, la struttura in questione si presenta in uno stato di conservazione buono, non si riscontrano meccanismi di danno innescati da insufficienze strutturali o di fondazione o ancora da eventi sismici passati.

4.3. DETTAGLI COSTRUTTIVI

In mancanza di elaborati progettuali originali, sono stati valutati i dettagli costruttivi mediante progetto simulato secondo la pratica dell'epoca della costruzione e verifiche in situ limitate.

4.4. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

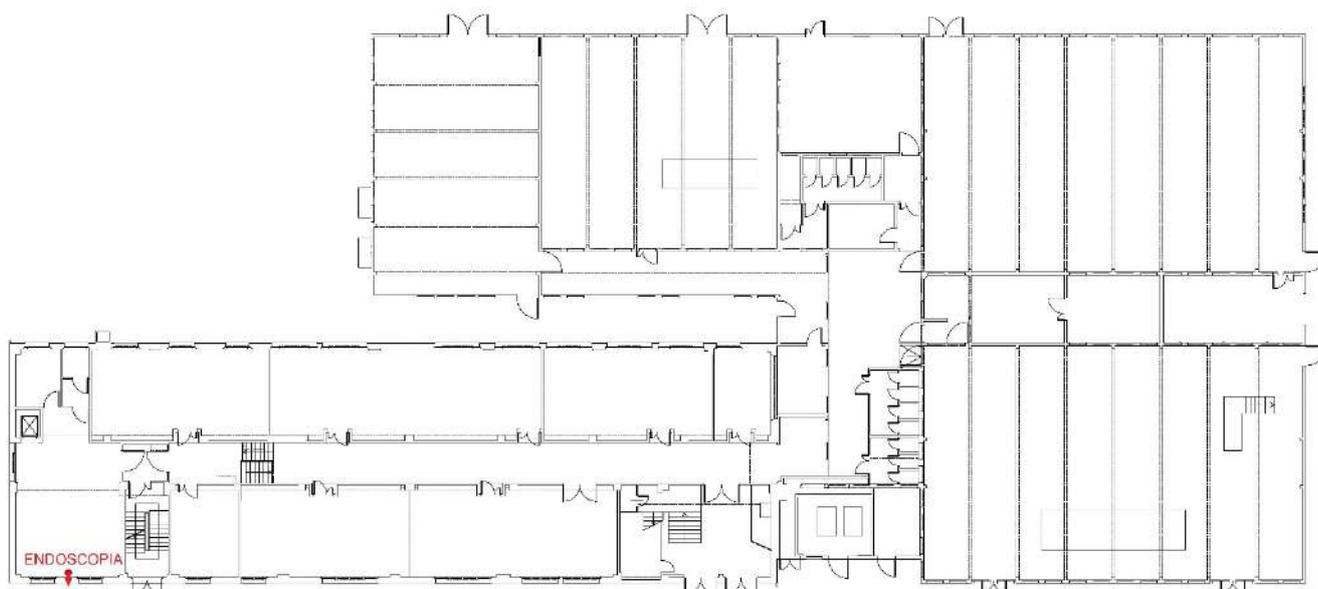
Attestata la mancata disponibilità di informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali da disegni esecutivi o certificati di prova, sono stati adottati i valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca opportunamente confrontati dai risultati di prove in-situ sugli elementi strutturali.

In particolare sono state eseguite prove per esaminare visivamente la stratigrafia delle murature tramite endoscopio, previa esecuzione di appositi fori, e di carattere sclerometrico per la classificazione locale del calcestruzzo.

Di seguito si riportano i risultati emersi relativamente alla caratterizzazione meccanica dei materiali.

4.4.1. INDAGINE ENDOSCOPICA

Sono stati eseguiti dei sondaggi nelle strutture murarie perimetrali dell'edificio e si riporta la pianta dell'edificio con indicati i punti di prova e alcune verifiche eseguite in cantiere.



L'intervento eseguito al piano terra consiste nell'esecuzione di un foro, avente diametro 22 mm, tramite trapano, oppure mediante microcarotaggi. Dopo un'accurata pulizia del foro si è proceduto all'indagine endoscopica che ha consentito di determinare visivamente la stratigrafia muraria: tipologia di materiali presenti e loro spessori.

Descrizione stratigrafica della muratura perimetrale al piano terra

E' stato possibile fare qualche valutazione in superficie riconoscendo i seguenti strati, rispettivamente dall'esterno verso l'interno:

- 5 centimetri di rivestimento esterno;
- 15 centimetri di laterizio;
- 11 centimetri di camera vuota;
- 8 centimetri di tramezza in laterizio.



Figura 4.20– Fotografie ispezione durante indagine endoscopica

4.4.2. INDAGINI SUL CALCESTRUZZO

Mediante prove slecoremetriche è stato possibile determinare la classe di resistenza del calcestruzzo.

Per l'esecuzione della prova sclerometrica è stato utilizzato uno sclerometro per calcestruzzo tipo "N", matricola "A88305" della ditta Volmos, verificato, durante tutte le operazioni di prova, su un incudine di taratura della ditta Volmos.

Lo sclerometro consiste in una massa battente scorrevole su un'asta guida che riceve un'energia potenziale dalla tensione di una mola calibrata. La massa, battendo sul puntale, rimbalza in modo proporzionale alla durezza superficiale

dell'agglomerato. Un indicatore viene trascinato dal movimento di rimbalzo della massa lungo una scala graduata, fornendo così il valore di rimbalzo (indice di rimbalzo). La superficie di prova è stata preventivamente pulita e spianata con pietra abrasiva.

In particolare la resistenza a compressione è legata all'indice di rimbalzo dalla seguente relazione:

$$R_c = A \cdot N^B$$

dove

R_c : resistenza a compressione [MPa];

N : indice di rimbalzo;

A e B : coefficienti di taratura, ottenuti dal confronto con prove dirette.

I risultati ottenuti, possono, eventualmente, essere moltiplicati per opportuni coefficienti, per tener conto dell'età del calcestruzzo e dell'umidità al momento della prova.



Figura 4.21- Caratterizzazione meccanica del calcestruzzo

▪ **CALCESTRUZZO Rck300.**

Caratteristiche calcestruzzo armato

N_{id}	γ_k	$\alpha_{T, i}$	E	G	C_{Erid}	Stz	R_{ck}	R_{cm}	$\%R_{ck}$	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	f_{cfm}	N	n_{Ac}
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]		[N/mm ²]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
CIs C25/30_FeB32k - (C25/30)															
001	25.000	0,000010	31.447	13.103	60	F	30,00	-	0,85	1,50	10,45	0,88	2,27	15	002

LEGENDA:

- N_{id} Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k Peso specifico.
- $\alpha_{T, i}$ Coefficiente di dilatazione termica.
- E Modulo elastico normale.
- G Modulo elastico tangenziale.
- C_{Erid} Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [$E_{sisma} = E \cdot C_{Erid}$].
- Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- R_{ck} Resistenza caratteristica cubica.
- R_{cm} Resistenza media cubica.
- $\%R_{ck}$ Percentuale di riduzione della R_{ck}
- γ_c Coefficiente parziale di sicurezza del materiale.
- f_{cd} Resistenza di calcolo a compressione.
- f_{ctd} Resistenza di calcolo a trazione.
- f_{cfm} Resistenza media a trazione per flessione.
- n_{Ac} Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale.

4.4.3. INDAGINI SULL'ACCIAIO D'ARMATURA

Ai fini delle verifiche relative all'intervento **data la mancata possibilità di eseguire saggi diretti delle armature esistenti, in fase di verifica è stata considerata la presenza di acciaio ad aderenza migliorata FeB32k, operando a favore di sicurezza.**

La normativa prevede che per l'acciaio FeB32K la tensione di snervamento f_{yk} venga divisa per il coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio $\gamma_{ms} = 1,15$ secondo la formula:

- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{ms}$

															Caratteristiche acciaio	
N_{id}	γ_k	$\alpha_{T, i}$	E	G	Stz	$f_{yk,1}/$ $f_{yk,2}$	$f_{tk,1}/$ $f_{tk,2}$	$f_{yd,1}/$ $f_{yd,2}$	f_{td}	γ_s	γ_{M1}	γ_{M2}	$\gamma_{M3,SLV}$	$\gamma_{M3,SLE}$	γ_{M7} NCnt Cnt	
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]							
Acciaio FeB 32k - (B450C)																
002	78.500	0,000010	210.00 0	80.769	F	315,00 -	-	202,90 -	-	1,15	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

N_{id}	Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k	Peso specifico.
$\alpha_{T, i}$	Coefficiente di dilatazione termica.
E	Modulo elastico normale.
G	Modulo elastico tangenziale.
Stz	Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
$f_{tk,1}$	Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $t \leq 40$ mm).
$f_{tk,2}$	Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
f_{td}	Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
γ_s	Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
γ_{M1}	Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
γ_{M2}	Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
$\gamma_{M3,SLV}$	Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
$\gamma_{M3,SLE}$	Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
γ_{M7}	Coefficiente parziale di sicurezza precario di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
$f_{yk,1}$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con $t \leq 40$ mm).
$f_{yk,2}$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
$f_{yd,1}$	Resistenza di calcolo (per profili con $t \leq 40$ mm).
$f_{yd,2}$	Resistenza di calcolo (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
NOTE	[-] = Parametro non significativo per il materiale.

Si farà riferimento ai materiali usuali secondo la pratica dell'epoca della costruzione.

I valori da considerare in fase di calcolo si ottengono applicando ai parametri soprariportati il fattore di confidenza associato al livello di conoscenza raggiunto relativamente a geometria, materiali e dettagli costruttivi (FC = 1,35).

4.5. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

Con riferimento alla Tabella C8.A.1.1 (Circolare 02-02-2009 n. 617) sono stati acquisiti il **LIVELLO DI CONOSCENZA** (LC - §C8.A.1.A.4 - Circolare 02-02-2009 n. 617) ed il **FATTORE DI CONFIDENZA** (FC - §C8.A.1.A.4 - Circolare 02-02-2009 n. 617) seguenti:

Livello di conoscenza e fattore di confidenza	
Livello di conoscenza	Fattore di confidenza
LC1	1.35

LEGENDA: Livello di conoscenza e fattore di confidenza

Livello di conoscenza	[LC1] = Conoscenza Limitata - [LC2] = Conoscenza Adeguata - [LC3] = Conoscenza Accurata.
Fattore di confidenza	Fattore di confidenza applicato alle proprietà dei materiali.

La Circolare 617 del 02/02/2009 al §C8A.1.B.3 riporta:

“LC1: Conoscenza limitata

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

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

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

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

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

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

Il fattore di confidenza corrispondente, utilizzato come coefficiente parziale di sicurezza, è **FC = 1,35**.

In riferimento a quanto indicato nella Circolare n° 617 del 02/02/2009 il livello di conoscenza del fabbricato esistente è stato conseguito mediante i seguenti punti:

▪ **GEOMETRIA:**

Rilievo geometrico-strutturale:

▪ **DETTAGLI COSTRUTTIVI:**

Progetto simulato secondo la pratica dell'epoca della costruzione e verifiche in situ limitate:

▪ **PROPRIETA' DEI MATERIALI:**

Indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali (prove sclerometriche) e riferimento ai valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca.

5. ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE

CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO

Nome del Software	EdiLus
Versione	BIM(e)
Caratteristiche del Software	Software per il calcolo di strutture agli elementi finiti per Windows
Numero di serie	18061448
Intestatario Licenza	MASSARI ing. MAURO
Produzione e Distribuzione	ACCA software S.p.A. Contrada Rosole 13 83043 BAGNOLI IRPINO (AV) - Italy Tel. 0827/69504 r.a. - Fax 0827/601235 e-mail: info@acca.it - Internet: www.acca.it

SINTESI DELLE FUNZIONALITA' GENERALI

Il pacchetto consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali e di generare gli elaborati grafici esecutivi.

È una procedura integrata dotata di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette, setti, travi-parete).

L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, solette, pareti, etc.) in un ambiente grafico integrato; il modello di calcolo agli elementi finiti, che può essere visualizzato in qualsiasi momento in un'apposita finestra, viene generato dinamicamente dal software.

Apposite funzioni consentono la creazione e la manutenzione di archivi Sezioni, Materiali e Carichi; tali archivi sono generali, nel senso che sono creati una tantum e sono pronti per ogni calcolo, potendoli comunque integrare/modificare in ogni momento.

L'utente non può modificare il codice ma soltanto eseguire delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il calcolo si basa sul solutore agli elementi finiti **MICROSAP** prodotto dalla società **TESYS srl**. La scelta di tale codice è motivata dall'elevata affidabilità dimostrata e dall'ampia documentazione a disposizione, dalla quale risulta la sostanziale uniformità dei risultati ottenuti su strutture standard con i risultati internazionalmente accettati ed utilizzati come riferimento.

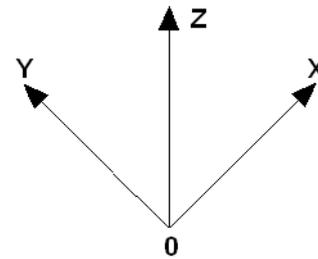
Tutti i risultati del calcolo sono forniti, oltre che in formato numerico, anche in formato grafico permettendo così di evidenziare agevolmente eventuali incongruenze.

Il programma consente la stampa di tutti i dati di input, dei dati del modello strutturale utilizzato, dei risultati del calcolo e delle verifiche dei diagrammi delle sollecitazioni e delle deformate.

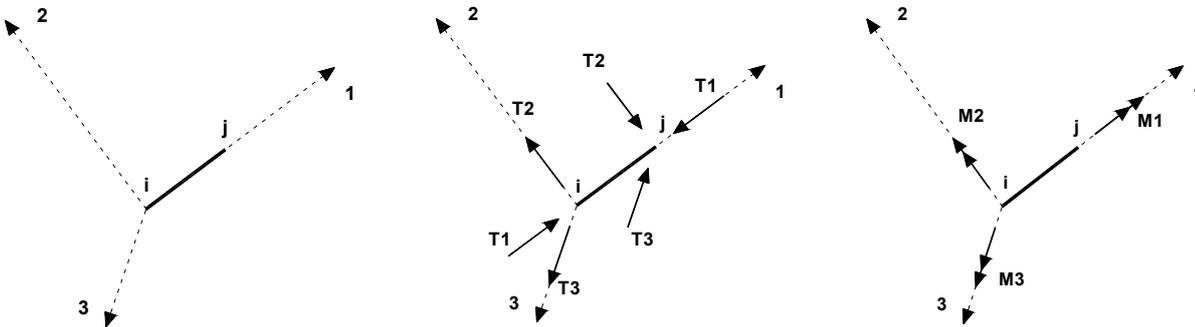
SISTEMI DI RIFERIMENTO

Riferimento globale

Il sistema di riferimento globale, rispetto al quale va riferita l'intera struttura, è costituito da una terna di assi cartesiani sinistrorsa O, X, Y, Z (X, Y , e Z sono disposti e orientati rispettivamente secondo il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, una volta posizionati questi ultimi a 90° tra loro).



Riferimento locale per travi



L'elemento Trave è un classico elemento strutturale in grado di ricevere Carichi distribuiti e Carichi Nodali applicati ai due nodi di estremità; per effetto di tali carichi nascono, negli estremi, sollecitazioni di taglio, sforzo normale, momenti flettenti e torcenti.

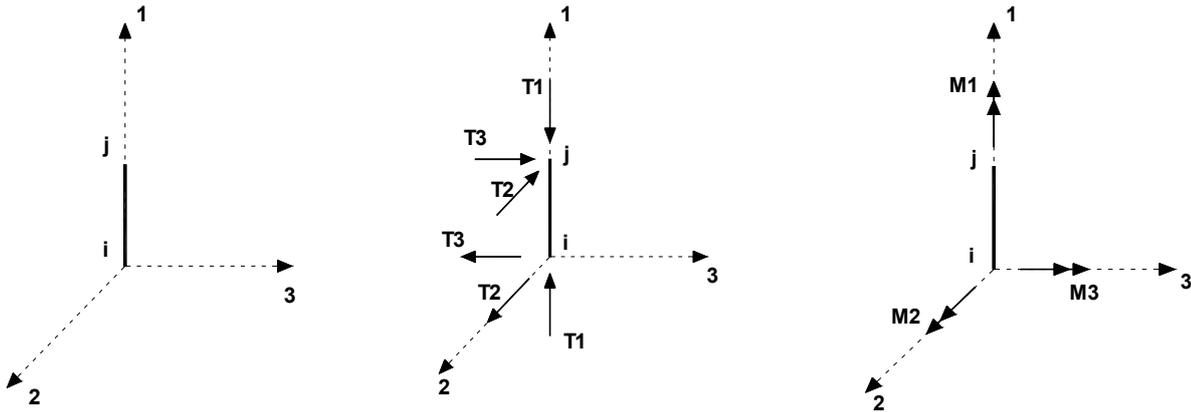
Definiti i e j (nodi iniziale e finale della Trave) viene individuato un sistema di assi cartesiani $1-2-3$ locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- asse 1 orientato dal nodo i al nodo j ;
- assi 2 e 3 appartenenti alla sezione dell'elemento e coincidenti con gli assi principali d'inerzia della sezione stessa.

Le sollecitazioni verranno fornite in riferimento a tale sistema di riferimento:

1. Sollecitazione di Trazione o Compressione T_1 (agente nella direzione $i-j$);
2. Sollecitazioni taglianti T_2 e T_3 , agenti nei due piani $1-2$ e $1-3$, rispettivamente secondo l'asse 2 e l'asse 3;
3. Sollecitazioni che inducono flessione nei piani $1-3$ e $1-2$ (M_2 e M_3);
4. Sollecitazione torcente M_1 .

Riferimento locale per pilastri



Definiti i e j come i due nodi iniziale e finale del pilastro, viene individuato un sistema di assi cartesiani 1-2-3 locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- asse 1 orientato dal nodo i al nodo j ;
- asse 2 perpendicolare all'asse 1, parallelo e discorde all'asse globale Y ;
- asse 3 che completa la terna destrorsa, parallelo e concorde all'asse globale X .

Tale sistema di riferimento è valido per Pilastri con angolo di rotazione pari a '0' gradi; una rotazione del pilastro nel piano XY ha l'effetto di ruotare anche tale sistema (ad es. una rotazione di '90' gradi porterebbe l'asse 2 a essere parallelo e concorde all'asse X , mentre l'asse 3 sarebbe parallelo e concorde all'asse globale Y). La rotazione non ha alcun effetto sull'asse 1 che coinciderà sempre e comunque con l'asse globale Z .

Per quanto riguarda le sollecitazioni si ha:

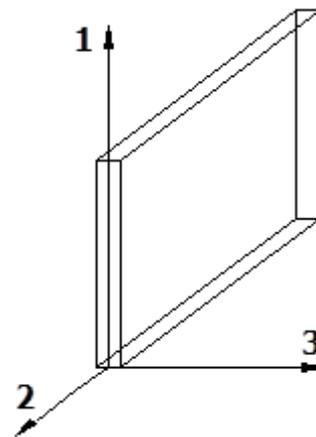
- una forza di trazione o compressione T_1 , agente lungo l'asse locale 1;
- due forze taglianti T_2 e T_3 agenti lungo i due assi locali 2 e 3;
- due vettori momento (flettente) M_2 e M_3 agenti lungo i due assi locali 2 e 3;
- un vettore momento (torcente) M_1 agente lungo l'asse locale nel piano 1.

Riferimento locale per pareti

Una parete è costituita da una sequenza di setti; ciascun setto è caratterizzato da un sistema di riferimento locale 1-2-3 così individuato:

- asse 1, coincidente con l'asse globale Z ;
- asse 2, parallelo e discorde alla linea d'asse della traccia del setto in pianta;
- asse 3, ortogonale al piano della parete, che completa la terna levogira.

Su ciascun setto l'utente ha la possibilità di applicare uno o più carichi uniformemente distribuiti comunque orientati nello spazio; le componenti di tali carichi possono essere fornite, a discrezione dell'utente, rispetto al riferimento globale X, Y, Z oppure rispetto al riferimento locale 1,2,3 appena definito.



Si rende necessario, a questo punto, meglio precisare le modalità con cui EdiLus restituisce i risultati di calcolo.

Nel modello di calcolo agli elementi finiti ciascun setto è discretizzato in una serie di elementi tipo “shell” interconnessi; il solutore agli elementi finiti integrato nel programma EdiLus, definisce un riferimento locale per ciascun elemento shell e restituisce i valori delle tensioni esclusivamente rispetto a tali riferimenti.

Il software EdiLus provvede ad omogeneizzare tutti i valori riferendoli alla terna 1-2-3. Tale operazione consente, in fase di input, di ridurre al minimo gli errori dovuti alla complessità d'immissione dei dati stessi ed allo stesso tempo di restituire all'utente dei risultati facilmente interpretabili.

Tutti i dati cioè, sia in fase di input che in fase di output, sono organizzati secondo un criterio razionale vicino al modo di operare del tecnico e svincolato dal procedimento seguito dall'elaboratore elettronico.

In tal modo ad esempio, il significato dei valori delle tensioni può essere compreso con immediatezza non solo dal progettista che ha operato con il programma ma anche da un tecnico terzo non coinvolto nell'elaborazione; entrambi, così, potranno controllare con facilità dal tabulato di calcolo, la congruità dei valori riportati.

Un'ultima notazione deve essere riservata alla modalità con cui il programma fornisce le armature delle pareti, con riferimento alla faccia anteriore e posteriore.

La faccia anteriore è quella di normale uscente concorde all'asse 3 come prima definito o, identicamente, quella posta alla destra dell'osservatore che percorresse il bordo superiore della parete concordemente al verso di tracciamento.

Modello di Calcolo

Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo le loro caratteristiche geometriche e meccaniche.

Viene definita un'opportuna numerazione degli elementi (nodi, aste, shell) costituenti il modello, al fine di individuare celermente ed univocamente ciascun elemento nei “*Tabulati di calcolo*”.

Qui di seguito è fornita una rappresentazione grafica dettagliata della discretizzazione operata con evidenziazione dei nodi e degli elementi.

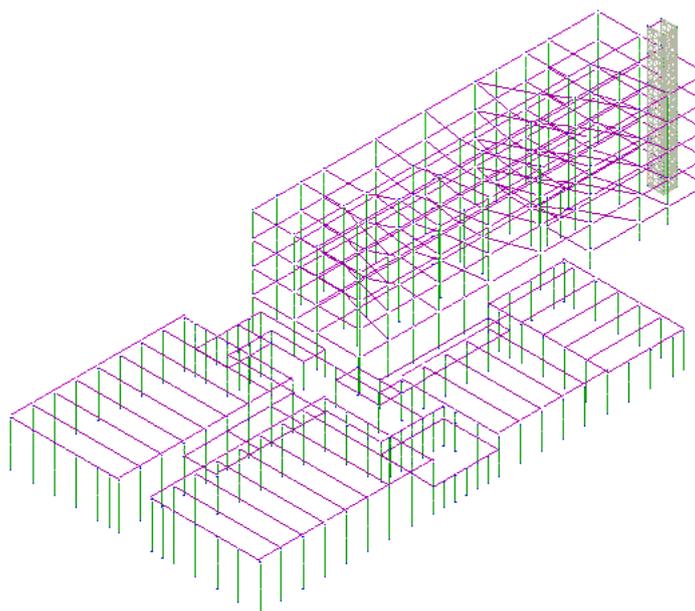


Figura 5.1 – Vista discretizzata anteriore

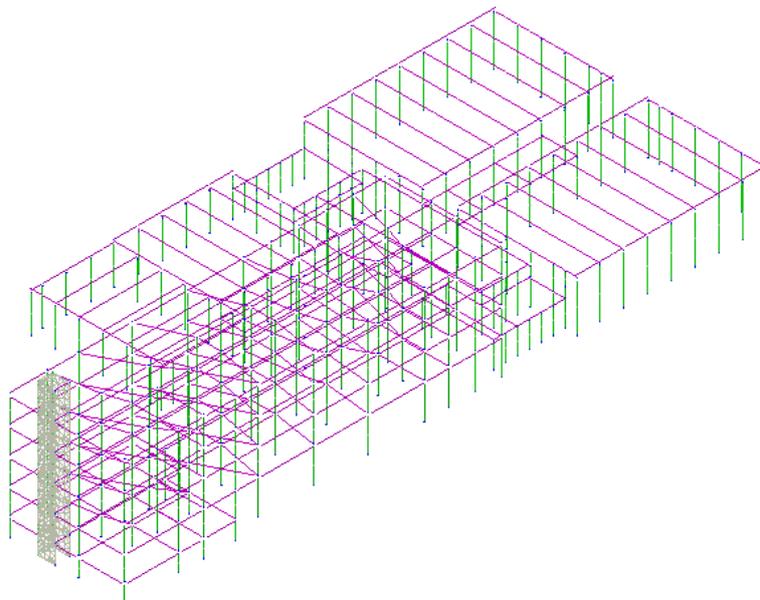


Figura 5.2 – Vista discretizzata posteriore

Dalle illustrazioni precedenti si evince come le aste, sia travi che pilastri, siano schematizzate con un tratto flessibile centrale e da due tratti (braccetti) rigidi alle estremità. I nodi vengono posizionati sull'asse verticale dei pilastri, in corrispondenza dell'estradosso della trave più alta che in esso si collega. Tramite i braccetti i tratti flessibili sono quindi collegati ad esso.

In questa maniera il nodo risulta perfettamente aderente alla realtà poiché vengono presi in conto tutti gli eventuali disassamenti degli elementi con gli effetti che si possono determinare, quali momenti flettenti/torcenti aggiuntivi.

Le sollecitazioni vengono determinate, com'è corretto, solo per il tratto flessibile. Sui tratti rigidi, infatti, essendo (teoricamente) nulle le deformazioni le sollecitazioni risultano indeterminate.

Questa schematizzazione dei nodi viene automaticamente realizzata dal programma anche quando il nodo sia determinato dall'incontro di più travi senza il pilastro, o all'attacco di travi/pilastri con elementi shell.

PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica degli elementi allo SLU avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'azione del sisma secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018;
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

Verifiche di Resistenza, elementi in C.A.

Illustriamo, in dettaglio, il procedimento seguito in presenza di pressoflessione deviata (pilastri e trave di sezione generica):

- per tutte le terne M_x , M_y , N , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base alla formula 4.1.19 del D.M. 2018, effettuando due verifiche a pressoflessione retta con la seguente formula:

$$\left(\frac{M_{Ex}}{M_{Rx}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ey}}{M_{Ry}}\right)^\alpha \leq 1$$

dove:

M_{Ex} , M_{Ey} sono i valori di calcolo delle due componenti di flessione retta dell'azione attorno agli assi di flessione X e Y del sistema di riferimento locale;

M_{Rx} , M_{Ry} sono i valori di calcolo dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti allo sforzo assiale N_{Ed} valutati separatamente attorno agli assi di flessione.

L'esponente α può dedursi in funzione della geometria della sezione, della percentuale meccanica dell'armatura e della sollecitazione di sforzo normale agente.

- se per almeno una di queste terne la relazione 4.1.19 non è rispettata, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando la suddetta relazione è rispettata per tutte le terne considerate.

Sempre quanto concerne il progetto degli elementi in c.a. illustriamo in dettaglio il procedimento seguito per le travi verificate/semiprogettate a pressoflessione retta:

- per tutte le coppie M_x , N , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base all'armatura adottata;
- se per almeno una di queste coppie esso è inferiore all'unità, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando il coefficiente di sicurezza risulta maggiore o al più uguale all'unità per tutte le coppie considerate.

Nei "Tabulati di calcolo", per brevità, non potendo riportare una così grossa mole di dati, si riporta la terna M_x , M_y , N , o la coppia M_x , N che ha dato luogo al minimo coefficiente di sicurezza.

Una volta semiprogettate le armature allo SLU, si procede alla verifica delle sezioni allo Stato Limite di Esercizio con le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti; se necessario, le armature vengono integrate per far rientrare le tensioni entro i massimi valori previsti. Si procede alle verifiche alla deformazione, quando richiesto, ed alla fessurazione che, come è noto, sono tese ad assicurare la durabilità dell'opera nel tempo.

6. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".

In particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica.

- Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c^* per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio.
- Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.
- Calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerate.

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum **ED50**:

Latitudine	Longitudine	Altitudine
[°]	[°]	[m]
44.048963	12.584325	4

Spettri di Progetto per S.L.U. e S.L.D.

L'edificio è stato progettato per una **Vita Nominale** pari a **50** e per **Classe d'Uso** pari a **2**.

In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il **suolo** di fondazione di **categoria C**, cui corrispondono i seguenti valori per i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta orizzontale e verticale:

Stato Limite	a_g/g	F_0	Parametri di pericolosità sismica					
			T_c^* [s]	C_c	T_B [s]	T_c [s]	T_D [s]	S_s
SLO	0.0495	2.439	0.270	1.62	0.146	0.437	1.798	1.50
SLD	0.0645	2.525	0.280	1.60	0.149	0.447	1.858	1.50
SLV	0.1835	2.487	0.300	1.56	0.156	0.469	2.334	1.43
SLC	0.2381	2.525	0.310	1.55	0.160	0.479	2.552	1.34

Per la definizione degli spettri di risposta, oltre all'accelerazione (a_g) al suolo (dipendente dalla classificazione sismica del Comune) occorre determinare il Fattore di Comportamento (q).

Il Fattore di comportamento q è un fattore riduttivo delle forze elastiche introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di Duttività e dalla regolarità in altezza.

Si è inoltre assunto il **Coefficiente di Amplificazione Topografica** (S_T) pari a **1.00**.

Tali succitate caratteristiche sono riportate negli allegati "*Tabulati di calcolo*" al punto "DATI GENERALI ANALISI SISMICA".

Per la struttura in esame sono stati determinati i seguenti valori:

Stato Limite di Danno

Fattore di Comportamento (q_x) per sisma orizzontale in direzione X: **1.00**;
Fattore di Comportamento (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y: **1.00**;
Fattore di Comportamento (q_z) per sisma verticale: **1.00**.

Stato Limite di salvaguardia della Vita

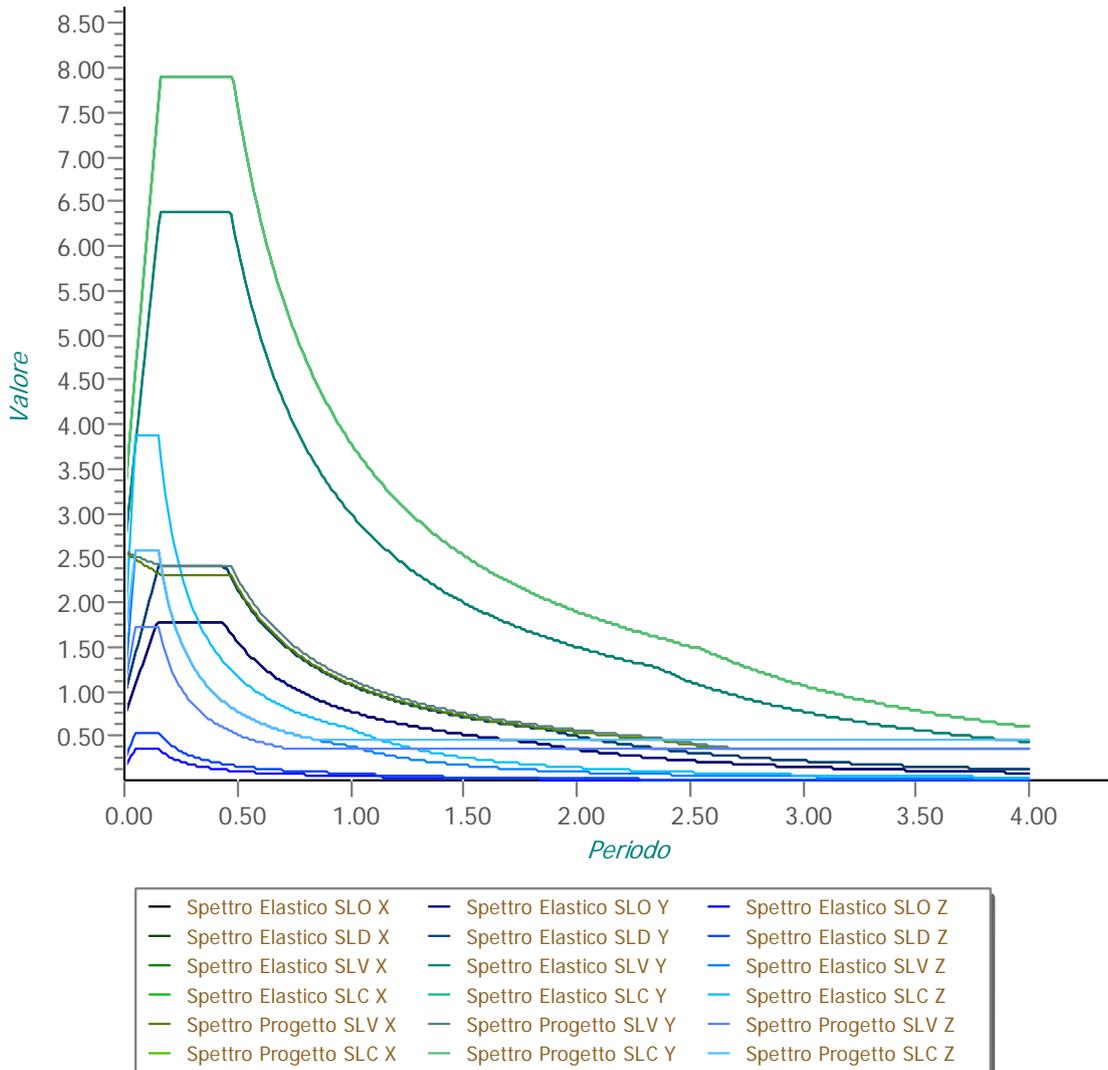
Verifica meccanismi "Duttili"

Fattore di Comportamento (q_x) per sisma orizzontale in direzione X, struttura mista equivalente a telai: **2.760**;
Fattore di Comportamento (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y, struttura mista equivalente a pareti: **2.640**;
Fattore di Comportamento (q_z) per sisma verticale: **1.50**.

Verifica meccanismi "Fragili"

Il fattore di comportamento utilizzato per la verifica di tali meccanismi è pari a **1,50**.
Gli spettri utilizzati sono riportati nella successiva figura.

Grafico degli Spettri di Risposta



6.1. METODO DI ANALISI

Il calcolo delle azioni sismiche è stato eseguito in analisi dinamica modale, considerando il comportamento della struttura in regime elastico lineare.

Il numero di **modi di vibrazione** considerato (15) ha consentito, nelle varie condizioni, di mobilitare le seguenti percentuali delle masse della struttura:

Stato Limite	Direzione Sisma	%
Salvaguardia della vita	X	96.6
Salvaguardia della vita	Y	95.6
Salvaguardia della vita	Z	100.0

Per valutare la risposta massima complessiva di una generica caratteristica E, conseguente alla sovrapposizione dei modi, si è utilizzata una tecnica di combinazione probabilistica definita CQC (*Complete Quadratic Combination - Combinazione Quadratica Completa*):

$$E = \sqrt{\sum_{i,j=1,n} \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j} \quad \rho_{ij} = \frac{8 \cdot \xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij})^2} \quad \beta_{ij} = \frac{T_j}{T_i}$$

dove:

- n è il numero di modi di vibrazione considerati;
- ξ è il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente espresso in percentuale;
- β_{ij} è il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia i-j di modi di vibrazione.

Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche.

Il calcolo degli effetti dell'azione sismica è stato eseguito con riferimento alla struttura spaziale, tenendo cioè conto degli elementi interagenti fra loro secondo l'effettiva realizzazione escludendo i tamponamenti. Non ci sono approssimazioni su tetti inclinati, piani sfalsati o scale, solette, pareti irrigidenti e nuclei.

Si è tenuto conto delle deformabilità taglianti e flessionali degli elementi monodimensionali; muri, pareti, setti, solette sono stati correttamente schematizzati tramite elementi finiti a tre/quattro nodi con comportamento a guscio (sia a piastra che a lastra).

Sono stati considerati sei gradi di libertà per nodo; in ogni nodo della struttura sono state applicate le forze sismiche derivanti dalle masse circostanti.

Le sollecitazioni derivanti da tali forze sono state poi combinate con quelle derivanti dagli altri carichi come prima specificato.

Valutazione degli spostamenti

Gli spostamenti d_E della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV sono stati ottenuti moltiplicando per il fattore μ_d i valori d_{Ee} ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione seguente:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$$

dove

$$\begin{aligned} \mu_d &= q & \text{se } T_1 \geq T_C; \\ \mu_d &= 1 + (q-1) \cdot T_C / T_1 & \text{se } T_1 < T_C. \end{aligned}$$

In ogni caso $\mu_d \leq 5q - 4$.

Combinazione delle componenti dell'azione sismica

Le azioni orizzontali dovute al sisma sulla struttura vengono convenzionalmente determinate come agenti separatamente in due direzioni tra loro ortogonali prefissate. In generale, però, le componenti orizzontali del sisma devono essere considerate come agenti simultaneamente. A tale scopo, la combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica è stata tenuta in conto come segue:

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY}$$

$$E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX}$$

dove:

E_{EdX} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale X scelto della struttura;

E_{EdY} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale Y scelto della struttura.

L'azione sismica verticale deve essere considerata in presenza di: elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi pressoché orizzontali precompressi, elementi a sbalzo pressoché orizzontali con luce maggiore di 5 m, travi che sostengono colonne, strutture isolate.

La combinazione della componente verticale del sisma, qualora portata in conto, con quelle orizzontali è stata tenuta in conto come segue:

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali e verticali del sisma sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY} \pm 0,30E_{EdZ}$$

$$E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdZ}$$

$$E_{EdZ} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY}$$

dove:

E_{EdX} e E_{EdY} sono gli effetti dell'azione sismica nelle direzioni orizzontali prima definite;

E_{EdZ} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione della componente verticale dell'azione sismica di progetto.

Eccentricità accidentali

Per valutare le eccentricità accidentali, previste in aggiunta all'eccentricità effettiva sono state considerate condizioni di carico aggiuntive ottenute applicando l'azione sismica nelle posizioni del centro di massa di ogni piano ottenute traslando gli stessi, in ogni direzione considerata, di una distanza pari a +/- 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica. Si noti che la distanza precedente, nel caso di distribuzione degli elementi non strutturali fortemente irregolare in pianta, viene raddoppiata ai sensi del § 7.2.3 del D.M. 2018.

PARAMETRI DI CALCOLO

Le norme precisano che la sicurezza e le prestazioni di una struttura o di una parte di essa devono essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si possono verificare durante la vita normale.

Prescrivono inoltre che debba essere assicurata una robustezza nei confronti di azioni eccezionali.

Le prestazioni della struttura e la vita nominale sono riportati nei successivi tabulati di calcolo della struttura.

La sicurezza e le prestazioni saranno garantite verificando gli opportuni stati limite definiti di concerto al Committente in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme di cui al D.M. 17.01.2018 e s.m. ed i.

In particolare si è verificata:

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni, provocare danni ambientali e sociali, mettere fuori servizio l'opera. Per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 per i vari tipi di materiale. I valori utilizzati sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.
- la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (SLE) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura per le azioni di esercizio. In particolare di concerto con il committente e coerentemente alle norme tecniche si sono definiti i limiti riportati nell'allegato fascicolo delle calcolazioni.

DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO PER DEFINIRE L'AZIONE SISMICA

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 17 Gennaio 2018, i parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto sono calcolati direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 17 Gennaio 2018).

Al fine di ricavare le azioni agenti sulla struttura, si sintetizzano i parametri della struttura considerati nell'analisi di vulnerabilità:

Parametri della struttura					
Classe d'uso	Vita V_n [anni]	Coeff. Uso	Periodo V_r [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
III	50.0	1.50	75.0	C	T1

METODOLOGIA DI ANALISI SISMICA ADOTTATA

Tra i metodi di analisi sismica previsti dalla normativa tecnica si è scelto di procedere con **un'analisi dinamica lineare**. Tale scelta di procedere con un'analisi dinamica è dovuta al fatto che questa permette di valutare la risposta sismica della struttura con riferimento a tutti i modi di vibrare significativi e non solo ai primi come avverrebbe con una analisi statica.

Inoltre, nonostante si abbia a che fare con un sistema dissipativo si è scelto di procedere con un'analisi lineare in quanto gli effetti legati alle non linearità dei materiali vengono ugualmente valutati mediante l'utilizzo di un fattore di struttura con valore diverso dall'unità; anche la capacità deformativa risulta comunque garantita dall'utilizzo della gerarchia delle resistenze e dall'utilizzo di opportuni particolari costruttivi.

7. RESOCONTO DELLE VERIFICHE PER CARICHI GRAVITAZIONALI

7.1. VALUTAZIONE DEI CARICHI VERTICALI E COMBINAZIONI DI PROGETTO

ANALISI DEI CARICHI

Un'accurata valutazione dei carichi è un requisito imprescindibile di una corretta progettazione, in particolare per le costruzioni realizzate in zona sismica.

Essa, infatti, è fondamentale ai fini della determinazione delle forze sismiche, in quanto incide sulla valutazione delle masse e dei periodi propri della struttura dai quali dipendono i valori delle accelerazioni (ordinate degli spettri di progetto).

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del **D.M. 2018**. In particolare, è stato fatto utile riferimento alle Tabelle 3.1.I e 3.1.II del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali e per la quantificazione e classificazione dei sovraccarichi, rispettivamente.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

Le analisi effettuate, corredate da dettagliate descrizioni, oltre che nei "Tabulati di calcolo" nella relativa sezione, sono di seguito riportate:

Analisi carichi										
N _{id}	T. C.	Descrizione del Carico	Tipologie di Carico	Peso Proprio		Permanente NON Strutturale		Sovraccarico Accidentale		Carico Neve
				Descrizione	PP	Descrizione	PNS	Descrizione	SA	
										[N/m ²]
001	S	LatCem Scuole H22	Scuole	Solaio di tipo tradizionale latero-cementizio di spessore 22 cm (18+4)	3.000	Pavimentazione e sottofondo, incidenza dei tramezzi e intonaco inferiore	3.500	Scuole (Cat. C1 – Tab. 3.1.II - DM 17.01.2018)	3.000	0
002	S	LatCem Scuole H25	Scuole	Solaio di tipo tradizionale latero-cementizio di spessore 25 cm (21+4)	3.050	Pavimentazione e sottofondo, incidenza dei tramezzi e intonaco inferiore	800	Scuole (Cat. C1 – Tab. 3.1.II - DM 17.01.2018)	3.000	1.200
003	S	Pannello prefabbricato	Coperture accessibili solo per manutenzione	Pannello	300		0	Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione (Cat. H – Tab. 3.1.II - DM 17.01.2018)	500	1.200

LEGENDA:

N_{id} Numero identificativo dell'analisi di carico.

T. C. Identificativo del tipo di carico: [S] = Superficiale - [L] = Lineare - [C] = Concentrato.

PP, PNS, Valori, rispettivamente, del Peso Proprio, del Sovraccarico Permanente NON strutturale, del Sovraccarico Accidentale.

SA Secondo il tipo di carico indicato nella colonna "T.C." ("S" - "L" - "C"), i valori riportati nelle colonne "PP", "PNS" e "SA", sono espressi in [N/m²] per carichi Superficiali, [N/m] per carichi Lineari, [N] per carichi Concentrati.

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 2018. I carichi agenti sui solai, derivanti dall'analisi dei carichi, vengono ripartiti dal programma di calcolo in modo automatico sulle membrature (travi, pilastri, pareti, solette, platee, ecc.).

I carichi dovuti ai tamponamenti, sia sulle travi di fondazione che su quelle di piano, sono schematizzati come carichi lineari agenti esclusivamente sulle aste.

Su tutti gli elementi strutturali è inoltre possibile applicare direttamente ulteriori azioni concentrate e/o distribuite (variabili con legge lineare ed agenti lungo tutta l'asta o su tratti limitati di essa).

Le azioni introdotte direttamente sono combinate con le altre (carichi permanenti, accidentali e sisma) mediante le combinazioni di carico di seguito descritte; da esse si ottengono i valori probabilistici da impiegare successivamente nelle verifiche.

Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Le azioni sulla costruzione sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots \quad (1)$$

dove:

- G_1 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);
- G_2 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
- Q azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\gamma_g, \gamma_q, \gamma_p$ coefficienti parziali come definiti nella Tab. 2.6.I del D.M. 2018;
- ψ_{0i} sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Le **50 combinazioni** risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico elementare: ciascuna condizione di carico accidentale, a rotazione, è stata considerata sollecitazione di base (Q_{k1} nella formula precedente).

I coefficienti relativi a tali combinazioni di carico sono riportati negli allegati "Tabulati di calcolo".

In zona sismica, oltre alle sollecitazioni derivanti dalle generiche condizioni di carico statiche, devono essere considerate anche le sollecitazioni derivanti dal sisma. L'azione sismica è stata combinata con le altre azioni secondo la seguente relazione:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

dove:

E	rappresenta l'azione sismica per lo stato limite in esame;
G ₁	rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
G ₂	rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
P	rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
ψ _{2i}	coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q _i ;
Q _{ki}	valore caratteristico dell'azione variabile Q _i .

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_K + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

I valori dei coefficienti ψ_{2i} sono riportati nella seguente tabella:

Categoria/Azione	ψ _{2i}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,3
Categoria B - Uffici	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,6
Categoria E - Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	0,8
Categoria F - Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,6
Categoria G - Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,3
Categoria H - Coperture	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	*
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	*
Vento	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,2
Variazioni termiche	0,0
* "Da valutarsi caso per caso"	

Stato Limite di Danno

L'azione sismica, ottenuta dallo spettro di progetto per lo Stato Limite di Danno, è stata combinata con le altre azioni mediante una relazione del tutto analoga alla precedente:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

dove:

E	rappresenta l'azione sismica per lo stato limite in esame;
G ₁	rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
G ₂	rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
P	rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
ψ _{2i}	coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q _i ;
Q _{ki}	valore caratteristico dell'azione variabile Q _i .

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_K + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

I valori dei coefficienti ψ_{2i} sono riportati nella tabella di cui allo SLV.

Stati Limite di Esercizio

Allo Stato Limite di Esercizio le sollecitazioni con cui sono state semiprogettate le aste in c.a. sono state ricavate applicando le formule riportate nel D.M. 2018 al §2.5.3. Per le verifiche agli stati limite di esercizio, a seconda dei casi, si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

rara $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$	frequente $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	quasi permanente $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------

dove:

- G_{kj} : valore caratteristico della j-esima azione permanente;
- P_{kh} : valore caratteristico della h-esima deformazione impressa;
- Q_{k1} : valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
- Q_{ki} : valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- ψ_{0i} : coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili di durata breve ma ancora significativi nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili;
- ψ_{1i} : coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;
- ψ_{2i} : coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni ammissibili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Ai coefficienti ψ_{0i} , ψ_{1i} , ψ_{2i} sono attribuiti i seguenti valori:

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

In maniera analoga a quanto illustrato nel caso dello SLU le combinazioni risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico; a turno ogni condizione di carico accidentale è stata considerata sollecitazione di base [Q_{k1} nella formula (1)], con ciò dando origine a tanti valori combinati. Per ognuna delle combinazioni ottenute, in funzione dell'elemento (trave, pilastro, ecc..) sono state effettuate le verifiche allo SLE (tensioni, deformazioni e fessurazione).

Negli allegati "Tabulati Di Calcolo" sono riportati i coefficienti relativi alle combinazioni di calcolo generate relativamente alle combinazioni di azioni "Quasi Permanente" (1), "Frequente" (3) e "Rara" (4).

Nelle sezioni relative alle verifiche allo SLE dei citati tabulati, inoltre, sono riportati i valori delle sollecitazioni relativi alle combinazioni che hanno originato i risultati più gravosi.

Azione della Neve

Il carico da neve è stato calcolato seguendo le prescrizioni del §3.4 del D.M. 2018 e le integrazioni della Circolare 02-02-2009 n. 617. Il carico da neve, calcolato come di seguito riportato, è stato combinato con le altre azioni variabili definite al §2.5.3, ed utilizzando i coefficienti di combinazione della Tabella 2.5.1 del D.M. 2018. Il carico da neve superficiale da applicare sulle coperture è stato stimato utilizzando la relazione [cfr. §3.4.1 D.M. 2018]:

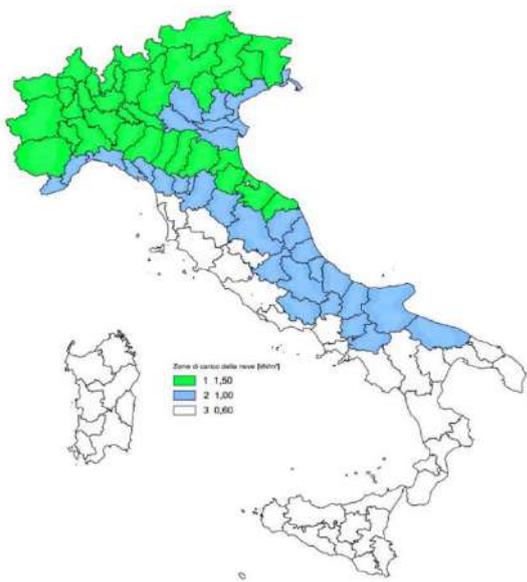
$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, in $[kN/m^2]$. Tale valore è calcolato in base alla posizione ed all'altitudine (a_s) secondo quanto indicato alla seguente tabella;

Valori di riferimento del carico della neve al suolo, q_{sk} (cfr. §3.4.2 D.M. 2018)

Zona	$a_s \leq 200$ m	$a_s > 200$ m
I – Alpina	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$	$q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2$
I – Mediterranea	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$	$q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2$
II	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$	$q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$
III	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$	$q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$



Mappa delle zone di carico della neve
[cfr. Fig. 3.4.1 D.M. 2018].

Zone di carico della neve

I - Alpina: Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza

I - Mediterranea: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese

II: Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona

III: Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastro, Olbia-Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo

- μ_i è il coefficiente di forma della copertura, funzione dell'inclinazione della falda (α) e della sua morfologia (vedi tabelle seguenti);

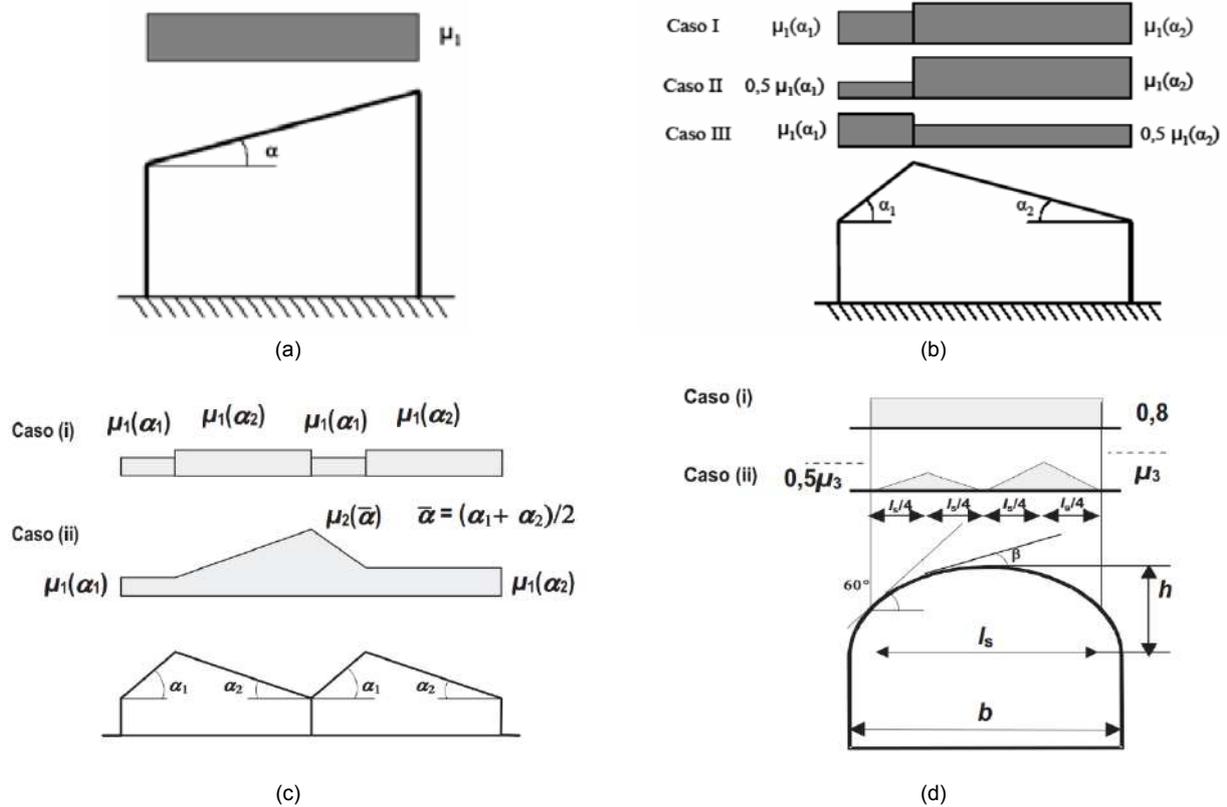
Valori dei coefficienti di forma per falde piane (cfr. Tab. 3.4.II D.M. 2018 e Tab. C3.4.I Circolare 02-02-2009 n. 617)

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	-

Valori dei coefficienti di forma per coperture cilindriche (cfr. §C3.4.5.6 Circolare 02-02-2009 n. 617)

Angolo di tangenza delle coperture cilindriche, β	Coefficiente di forma, μ_3
per $\beta > 60^\circ$	$\mu_3 = 0$
per $\beta \leq 60^\circ$	$\mu_3 = 0,2 + 10 h / b \leq 2,0$

I coefficienti di forma definiti nelle tabelle precedenti sono stati utilizzati per la scelta delle combinazioni di carico da neve indicate nelle seguenti figure.



Coefficienti di forma e relative combinazioni di carico per la neve: (a) coperture ad una falda [cfr. 3.4.5.2 D.M. 2018], (b) coperture a due falde [cfr. 3.4.5.3 D.M. 2018], (c) coperture a più falde [cfr. C3.4.5.4 Circolare 02-02-2009 n. 617], (d) coperture cilindriche [cfr. C3.4.5.5 Circolare 02-02-2009 n. 617].

- C_E è il coefficiente di esposizione, funzione della topografia del sito (si veda la seguente tabella);

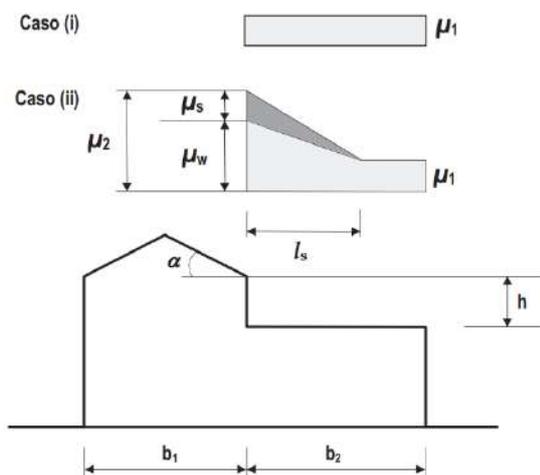
Valori di C_E per diverse classi di esposizione (cfr. Tab. 3.4.1 D.M. 2018)

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

- C_t è il coefficiente termico, cautelativamente posto pari ad 1 (cfr. §3.4.4 D.M. 2018).

Coperture adiacenti ed effetti locali

Nel caso di coperture adiacenti, si è proceduto alla stima di un carico da neve aggiuntivo dovuto a fenomeni di accumulo (cfr. §3.4.5.6 Circolare 02-02-2009 n. 617).



Coefficienti di forma per coperture adiacenti

$$\mu_1 = 0.8$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

$$\mu_s = 0 \text{ per } \alpha \leq 15^\circ$$

$$\mu_s = 0,5 \mu_{sup} \text{ per } \alpha > 15^\circ$$

dove:

μ_{sup} è il coefficiente valutato sulla copertura superiore

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2 h \leq \gamma h / q_{sk}$$

$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$ è il peso specifico della neve $s = 2 h$

Inoltre, deve risultare comunque:

$$0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$$

$$m \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

Ulteriori carichi aggiuntivi dovuti a neve sono stati considerati nelle seguenti casistiche:

- accumuli in corrispondenza di sporgenze (cfr. §C3.4.5.7.1 Circolare 02-02-2009 n. 617);
- accumuli di neve aggettante dai bordi sporgenti delle coperture (cfr. §C3.4.5.7.2 Circolare 02-02-2009 n. 617);
- accumuli in corrispondenza di barriere paraneve o altri ostacoli (cfr. §C3.4.5.7.3 Circolare 02-02-2009 n. 617).

7.2. REGOLARITA' DELLA STRUTTURA

<i>Regolarità della struttura</i>	
REGOLARITA' DELLA STRUTTURA IN PIANTA	
<i>La distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidezza nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento</i>	NO
<i>Il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4</i>	NO
<i>Ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione</i>	SI
REGOLARITA' DELLA STRUTTURA IN ALTEZZA	
<i>Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio</i>	NO
<i>Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base</i>	NO
<i>Il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi (tale rapporto, calcolato per un generico orizzontamento, non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti</i>	NO
<i>Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo; oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento</i>	NO

7.3. PERIODI FONDAMENTALI E MASSE PARTECIPANTI

Periodi fondamentali e masse partecipanti				
Direzione	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.846	1	78.08	1'520.93
Y	1.205	2	65.25	1'390.35

LEGENDA: Periodi fondamentali e masse partecipanti

Periodo Periodo di vibrazione nella direzione considerata.
Modo di vibrare Modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.
Masse partecipanti Percentuale di masse partecipanti relative al modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.
Coefficiente di partecipazione Coefficiente di partecipazione massimo, in valore assoluto, nella direzione considerata.

7.4. CAPACITA' - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA SOSTENIBILE

Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _C	T _{RC}
			[a _g /g]	[anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.0907	44
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.0628	13
SLV	Taglio	CA	0.0429	7

LEGENDA: Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.
Materiale Tipologia di materiale per il tipo di rottura considerato: [CA] = Cemento Armato - [AC] = Acciaio - [MU] = Muratura - [TER] = Terreno - [-] = Parametro non significativo per il tipo di rottura.
Tipo di rottura Tipo di rottura per differenti elementi o meccanismi.
PGA_C Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di accelerazione al suolo. Se PGA_C=0 -> l'elemento risulta non verificato già per i carichi verticali presenti nella combinazioni sismica [G_k+Σ_i(ψ_{2,i}·Q_{k,i})]. Se PGA_C=NS -> Non significativo per valori di PGA_C >= 1000.
T_{RC} Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di periodo di ritorno [= T_{RD}·(PGA_C/PGA_D)^η con η = 1/0,41].

7.5. DOMANDA - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA ATTESA

Domanda - Entità dell'azione sismica attesa			
Stato Limite	PGA _D	T _{RD}	
	[a _g /g]	[anni]	
SLO	0.0743	30	
SLD	0.0967	50	
SLV	0.2617	475	
SLC	0.3189	975	

LEGENDA: Domanda - Entità dell'azione sismica attesa

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite prevenzione collasso.
PGA_D Domanda in termini di accelerazione al sito (S_s·S_T·a_g/g).
T_{RD} Domanda in termini di periodo di ritorno.

7.6. INDICATORI DI RISCHIO SISMICO

Indicatori di rischio sismico			
Stato Limite	ζ _B /α _{PGA}	α _{TR}	
SLD	0.937	0.949	
SLV	0.164	0.182	

LEGENDA: Indicatori di rischio sismico

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.
ζ_B/α_{PGA} Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di accelerazione: PGA_C/PGA_D - [NS] = non significativo, per valori superiori o uguali a 100. [0] -> la minima capacità, fra tutti i meccanismi di verifica considerati, è nulla.
N.B.
ζ_B: simbologia NTC18;
α_{PGA}: simbologia NTC08.
α_{TR} Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di periodo di ritorno: (T_{RC}/T_{RD})^{0,41} - [NS] = non significativo, per valori superiori o uguali a 100.

8. ACCELERAZIONI SISMICHE DI COLLASSO SU BEAM E SHELL

IdElm	Accelerazioni Sismiche di Collasso su Beam e Shell					
	FLESSIONE			TAGLIO		
	%LLI/Shell	PGA _{PF/RC}	PGA _{C/PGA_D} [%]	%LLI/Shell	PGA _T	PGA _{C/PGA_D} [%]
Piano Interrato						
Pilastro 1	0.00 %	0,190	73	0.00 %	0,074	28
Pilastro 2	0.00 %	0,204	78	0.00 %	0,068	26
Pilastro 3	0.00 %	0,161	61	0.00 %	0,080	30
Pilastro 35	0.00 %	0,223	85	0.00 %	0,092	35
Pilastro 34	0.00 %	0,236	90	0.00 %	0,075	29
Pilastro 12	0.00 %	0,194	74	0.00 %	0,004	2
Pilastro 14	0.00 %	0,259	99	0.00 %	0,092	35
Pilastro 23	0.00 %	0,250	95	0.00 %	0,051	19
Pilastro 22	0.00 %	0,367	140	0.00 %	0,112	43
Pilastro 33	0.00 %	0,319	122	0.00 %	0,135	52
Pilastro 13	0.00 %	0,301	115	0.00 %	0,054	21
Pilastro 15	0.00 %	0,306	117	0.00 %	0,121	46
Pilastro 32	0.00 %	0,100	38	0.00 %	0,079	30
Pilastro 24	0.00 %	0,158	60	0.00 %	0,091	35
Pilastro 25	0.00 %	0,148	57	0.00 %	0,135	51
Pilastro 4	0.00 %	0,273	104	0.00 %	0,177	68
Trave P1-P2	87.50 %	1,042	200	87.50 %	0,660	200
Trave 22-33	100.00 %	0,549	200	0.00 %	0,469	179
Trave 13-22	100.00 %	0,273	104	0.00 %	0,150	57
Trave 15-23	0.00 %	0,316	121	100.00 %	0,178	68
Trave 23-34	100.00 %	0,369	141	100.00 %	0,208	80
Trave 3-14	100.00 %	0,526	200	0.00 %	0,483	185
Trave 2-13	0.00 %	0,553	200	0.00 %	0,547	200
Trave 13-14	0.00 %	0,241	92	0.00 %	0,028	11
Trave 24-25	100.00 %	0,170	65	0.00 %	0,025	10
Trave 23-24	12.50 %	0,159	61	100.00 %	0,037	14
Trave 15-24	100.00 %	0,245	94	100.00 %	0,115	44
Trave 4-15	0.00 %	0,426	163	0.00 %	0,463	177
Trave 25-35	0.00 %	0,369	141	0.00 %	0,349	133
Trave 2-3	0.00 %	0,155	59	0.00 %	0,024	9
Trave 1-12	0.00 %	0,411	157	0.00 %	0,417	159
Trave P3-32	0.00 %	0,252	96	0.00 %	0,153	58
Trave 12-P1	0.00 %	0,183	70	0.00 %	0,095	36
Trave 34-33	0.00 %	0,193	74	0.00 %	0,012	4
Parete P2-P4	[00539-00267-00538]	0,073	28	[00539-00267-00538]	0,148	57
Parete P1-P3	[00548-00283-00547]	0,063	24	[00548-00283-00547]	0,161	62
Parete P3-P4	[00286-00556-00285]	0,064	24	[00286-00556-00285]	0,085	32
Piano Terra						
Pilastro 1	0.00 %	0,223	85	0.00 %	0,139	53
Pilastro 2	0.00 %	0,174	66	0.00 %	0,071	27
Pilastro 3	0.00 %	0,184	70	0.00 %	0,103	39
Pilastro 5	0.00 %	0,122	47	0.00 %	0,077	30
Pilastro 6	0.00 %	0,151	58	0.00 %	0,111	42
Pilastro 7	0.00 %	0,113	43	0.00 %	0,078	30
Pilastro 8	0.00 %	0,104	40	0.00 %	0,095	36
Pilastro 9	0.00 %	0,096	37	0.00 %	0,095	36
Pilastro 10	0.00 %	0,146	56	0.00 %	0,191	73
Pilastro 21	0.00 %	0,065	25	0.00 %	0,051	20
Pilastro 31	0.00 %	0,080	31	0.00 %	0,063	24
Pilastro 30	0.00 %	0,134	51	0.00 %	0,074	28
Pilastro 29	0.00 %	0,159	61	0.00 %	0,089	34
Pilastro 28	0.00 %	0,168	64	0.00 %	0,092	35
Pilastro 42	0.00 %	0,059	23	0.00 %	0,067	26
Pilastro 41	0.00 %	0,103	40	0.00 %	0,089	34
Pilastro 40	0.00 %	0,202	77	0.00 %	0,218	83
Pilastro 38	0.00 %	0,226	86	0.00 %	0,215	82
Pilastro 35	0.00 %	0,293	112	0.00 %	0,156	59
Pilastro 34	0.00 %	0,268	102	0.00 %	0,108	41
Pilastro 32	0.00 %	0,115	44	0.00 %	0,148	56
Pilastro 12	0.00 %	0,130	50	0.00 %	0,008	3
Pilastro 14	0.00 %	0,275	105	0.00 %	0,117	45
Pilastro 15	0.00 %	0,241	92	0.00 %	0,126	48
Pilastro 16	0.00 %	0,207	79	0.00 %	0,136	52
Pilastro 17	0.00 %	0,194	74	0.00 %	0,095	36
Pilastro 18	0.00 %	0,179	68	0.00 %	0,088	34
Pilastro 19	0.00 %	0,143	55	0.00 %	0,090	35
Pilastro 20	0.00 %	0,114	43	0.00 %	0,063	24
Pilastro 27	0.00 %	0,175	67	0.00 %	0,086	33
Pilastro 26	0.00 %	0,169	65	0.00 %	0,070	27
Pilastro 23	0.00 %	0,214	82	0.00 %	0,043	16
Pilastro 22	0.00 %	0,260	99	0.00 %	0,112	43
Pilastro 33	0.00 %	0,287	110	0.00 %	0,137	52
Pilastro 36	0.00 %	0,155	59	0.00 %	0,099	38
Pilastro 37	0.00 %	0,113	43	0.00 %	0,087	33
Pilastro 11	0.00 %	0,080	31	0.00 %	0,104	40
Pilastro 39	0.00 %	0,085	32	0.00 %	0,070	27

Accelerazioni Sismiche di Collasso su Beam e Shell

Id _{Elm}	FLESSIONE			TAGLIO		
	%LLI/Shell	PGA _{PF/RC}	PGA _{C/PGA_D} [%]	%LLI/Shell	PGA _T	PGA _{C/PGA_D} [%]
Pilastro 13	0.00 %	0,217	83	0.00 %	0,051	19
Pilastro 24	0.00 %	0,070	27	0.00 %	0,069	27
Pilastro 25	0.00 %	0,077	29	0.00 %	0,085	33
Pilastro 4	0.00 %	0,190	73	0.00 %	0,105	40
Trave 37-38	0.00 %	0,105	40	0.00 %	0,027	10
Trave 33-34	100.00 %	0,132	50	100.00 %	0,006	2
Trave 41-42	100.00 %	0,113	43	100.00 %	0,005	2
Trave 39-40	0.00 %	0,104	40	0.00 %	0,012	4
Trave 40-41	100.00 %	0,153	59	0.00 %	0,030	12
Trave 38-39	100.00 %	0,110	42	100.00 %	0,017	7
Trave 31-42	100.00 %	0,122	47	100.00 %	0,127	49
Trave 21-31	0.00 %	0,072	28	100.00 %	0,036	14
Trave 11-21	0.00 %	0,125	48	0.00 %	0,120	46
Trave 10-11	100.00 %	0,156	60	100.00 %	0,024	9
Trave 4-5	100.00 %	0,107	41	0.00 %	0,039	15
Trave 8-9	0.00 %	0,107	41	0.00 %	0,017	6
Trave 9-10	0.00 %	0,144	55	0.00 %	0,021	8
Trave 3-4	0.00 %	0,116	44	0.00 %	0,001	0
Trave 2-3	100.00 %	0,107	41	100.00 %	0,017	7
Trave 1-12	0.00 %	0,241	92	0.00 %	0,256	98
Trave 22-33	100.00 %	0,360	138	0.00 %	0,311	119
Trave 13-22	100.00 %	0,185	71	0.00 %	0,103	39
Trave 15-23	100.00 %	0,212	81	100.00 %	0,070	27
Trave P2-P1	12.50 %	0,588	200	12.50 %	0,364	139
Trave 23-34	100.00 %	0,244	93	0.00 %	0,139	53
Trave 26-35	0.00 %	0,222	85	0.00 %	0,145	55
Trave 27-36	100.00 %	0,188	72	100.00 %	0,141	54
Trave 28-37	100.00 %	0,199	76	100.00 %	0,190	72
Trave 29-39	100.00 %	0,182	70	100.00 %	0,176	67
Trave 30-41	100.00 %	0,154	59	100.00 %	0,131	50
Trave 16-26	100.00 %	0,171	66	100.00 %	0,052	20
Trave 17-27	100.00 %	0,138	53	100.00 %	0,082	31
Trave 18-28	100.00 %	0,128	49	0.00 %	0,071	27
Trave 19-29	0.00 %	0,130	50	100.00 %	0,025	10
Trave 20-30	100.00 %	0,099	38	0.00 %	0,055	21
Trave 9-20	0.00 %	0,187	71	0.00 %	0,192	73
Trave 8-19	0.00 %	0,191	73	0.00 %	0,063	24
Trave 7-18	0.00 %	0,186	71	0.00 %	0,185	71
Trave 6-17	0.00 %	0,209	80	0.00 %	0,196	75
Trave 5-16	0.00 %	0,258	99	100.00 %	0,234	89
Trave 5-15	0.00 %	0,219	84	100.00 %	0,167	64
Trave 3-14	100.00 %	0,335	128	0.00 %	0,311	119
Trave 2-13	0.00 %	0,346	132	0.00 %	0,352	135
Trave 13-14	100.00 %	0,184	70	0.00 %	0,027	10
Trave 15-16	100.00 %	0,224	85	100.00 %	0,118	45
Trave 19-20	0.00 %	0,149	57	0.00 %	0,021	8
Trave 12-P1	12.50 %	0,115	44	100.00 %	0,057	22
Trave 24-23	87.50 %	0,101	39	0.00 %	0,027	10
Trave P3-32	0.00 %	0,150	57	0.00 %	0,091	35
Trave 25-24	0.00 %	0,325	124	100.00 %	0,072	28
Trave 26-25	12.50 %	0,110	42	100.00 %	0,050	19
Parete P2-P4	[00444-00221-00640]	0,121	46	[00444-00221-00640]	0,141	54
Parete P3-P4	[00651-00460-00461]	0,112	43	[00651-00460-00461]	0,081	31
Parete P1-P3	[00279-00661-00280]	0,125	48	[00279-00661-00280]	0,141	54
Piano Primo						
Pilastro 1	0.00 %	0,292	112	0.00 %	0,157	60
Pilastro 2	0.00 %	0,151	58	0.00 %	0,067	25
Pilastro 3	0.00 %	0,270	103	0.00 %	0,102	39
Pilastro 5	0.00 %	0,170	65	0.00 %	0,076	29
Pilastro 6	0.00 %	0,351	134	0.00 %	0,212	81
Pilastro 7	0.00 %	0,303	116	0.00 %	0,192	74
Pilastro 8	0.00 %	0,176	67	0.00 %	0,076	29
Pilastro 9	0.00 %	0,189	72	0.00 %	0,099	38
Pilastro 10	0.00 %	0,195	75	0.00 %	0,109	42
Pilastro 21	0.00 %	0,080	30	0.00 %	0,033	12
Pilastro 31	0.00 %	0,087	33	0.00 %	0,056	22
Pilastro 30	0.00 %	0,149	57	0.00 %	0,056	21
Pilastro 29	0.00 %	0,224	86	0.00 %	0,079	30
Pilastro 28	0.00 %	0,194	74	0.00 %	0,073	28
Pilastro 42	0.00 %	0,139	53	0.00 %	0,175	67
Pilastro 41	0.00 %	0,192	73	0.00 %	0,119	45
Pilastro 40	0.00 %	0,203	78	0.00 %	0,116	44
Pilastro 38	0.00 %	0,204	78	0.00 %	0,115	44
Pilastro 35	0.00 %	0,372	142	0.00 %	0,156	60
Pilastro 34	0.00 %	0,248	95	0.00 %	0,104	40
Pilastro 32	0.00 %	0,151	58	0.00 %	0,156	60
Pilastro 12	0.00 %	0,110	42	0.00 %	0,033	12
Pilastro 14	0.00 %	0,258	98	0.00 %	0,112	43
Pilastro 15	0.00 %	0,225	86	0.00 %	0,127	48
Pilastro 16	0.00 %	0,156	60	0.00 %	0,067	26
Pilastro 17	0.00 %	0,224	86	0.00 %	0,068	26
Pilastro 18	0.00 %	0,212	81	0.00 %	0,066	25
Pilastro 19	0.00 %	0,130	50	0.00 %	0,050	19

Accelerazioni Sismiche di Collasso su Beam e Shell

Id _{Elm}	FLESSIONE			TAGLIO		
	%LLI/Shell	PGA _{PF/RC}	PGA _{C/PGA_D} [%]	%LLI/Shell	PGA _T	PGA _{C/PGA_D} [%]
Pilastro 20	0.00 %	0,125	48	0.00 %	0,055	21
Pilastro 27	0.00 %	0,217	83	0.00 %	0,068	26
Pilastro 26	0.00 %	0,224	85	0.00 %	0,077	29
Pilastro 23	0.00 %	0,239	91	0.00 %	0,084	32
Pilastro 22	0.00 %	0,236	90	0.00 %	0,105	40
Pilastro 33	0.00 %	0,242	92	0.00 %	0,124	47
Pilastro 36	0.00 %	0,366	140	0.00 %	0,215	82
Pilastro 37	0.00 %	0,251	96	0.00 %	0,137	52
Pilastro 11	0.00 %	0,131	50	0.00 %	0,157	60
Pilastro 39	0.00 %	0,209	80	0.00 %	0,155	59
Pilastro 13	0.00 %	0,178	68	0.00 %	0,037	14
Pilastro 4	0.00 %	0,139	53	0.00 %	0,085	33
Trave 37-38	0.00 %	0,118	45	0.00 %	0,028	11
Trave 33-34	100.00 %	0,130	50	100.00 %	0,005	2
Trave 41-42	100.00 %	0,132	50	100.00 %	0,004	2
Trave 39-40	0.00 %	0,113	43	0.00 %	0,009	3
Trave 40-41	100.00 %	0,162	62	0.00 %	0,030	11
Trave 38-39	100.00 %	0,122	47	100.00 %	0,017	6
Trave 31-42	100.00 %	0,160	61	100.00 %	0,157	60
Trave 21-31	0.00 %	0,092	35	100.00 %	0,045	17
Trave 11-21	0.00 %	0,154	59	0.00 %	0,150	57
Trave 10-11	100.00 %	0,165	63	100.00 %	0,018	7
Trave 4-5	100.00 %	0,131	50	0.00 %	0,042	16
Trave 8-9	0.00 %	0,127	48	100.00 %	0,021	8
Trave 9-10	0.00 %	0,145	55	0.00 %	0,016	6
Trave 2-3	100.00 %	0,108	41	100.00 %	0,016	6
Trave 1-12	0.00 %	0,212	81	0.00 %	0,231	88
Trave 22-33	100.00 %	0,346	132	0.00 %	0,302	115
Trave 13-22	100.00 %	0,182	69	0.00 %	0,101	39
Trave 15-23	100.00 %	0,225	86	0.00 %	0,132	50
Trave P2-P1	12.50 %	0,479	183	0.00 %	0,245	94
Trave 23-34	100.00 %	0,244	93	100.00 %	0,139	53
Trave 26-35	100.00 %	0,237	91	100.00 %	0,155	59
Trave 27-36	100.00 %	0,232	88	100.00 %	0,164	63
Trave 28-37	100.00 %	0,246	94	100.00 %	0,221	85
Trave 29-39	100.00 %	0,230	88	100.00 %	0,216	82
Trave 30-41	100.00 %	0,192	74	100.00 %	0,157	60
Trave 16-26	0.00 %	0,178	68	100.00 %	0,103	39
Trave 17-27	0.00 %	0,158	60	100.00 %	0,094	36
Trave 18-28	100.00 %	0,146	56	0.00 %	0,081	31
Trave 19-29	100.00 %	0,147	56	0.00 %	0,029	11
Trave 20-30	100.00 %	0,112	43	0.00 %	0,062	24
Trave 9-20	0.00 %	0,236	90	0.00 %	0,233	89
Trave 8-19	0.00 %	0,241	92	0.00 %	0,075	29
Trave 7-18	0.00 %	0,233	89	0.00 %	0,220	84
Trave 6-17	0.00 %	0,253	97	0.00 %	0,225	86
Trave 5-16	0.00 %	0,289	110	0.00 %	0,262	100
Trave 5-15	0.00 %	0,235	90	0.00 %	0,184	70
Trave 3-14	100.00 %	0,330	126	0.00 %	0,311	119
Trave 2-13	0.00 %	0,328	125	0.00 %	0,338	129
Trave 13-14	100.00 %	0,183	70	100.00 %	0,024	9
Trave 15-16	100.00 %	0,212	81	100.00 %	0,049	19
Trave 19-20	100.00 %	0,169	65	100.00 %	0,025	10
Trave P3-32	0.00 %	0,135	52	0.00 %	0,083	32
Trave 12-P1	12.50 %	0,104	40	100.00 %	0,051	20
Parete P2-P4	[00695-00518-00519]	0,310	118	[00695-00518-00519]	0,192	74
Parete P3-P4	[00523-00524-00706]	0,273	104	[00523-00524-00706]	0,100	38
Parete P1-P3	[00673-00494-00495]	0,246	94	[00673-00494-00495]	0,171	65
Piano Secondo						
Pilastro 4	0.00 %	0,157	60	0.00 %	0,118	45
Pilastro 1	0.00 %	0,206	79	0.00 %	0,282	108
Pilastro 2	0.00 %	0,136	52	0.00 %	0,082	31
Pilastro 3	0.00 %	0,180	69	0.00 %	0,158	61
Pilastro 5	0.00 %	0,143	55	0.00 %	0,126	48
Pilastro 6	0.00 %	0,339	130	0.00 %	0,266	102
Pilastro 7	0.00 %	0,275	105	0.00 %	0,264	101
Pilastro 8	0.00 %	0,154	59	0.00 %	0,109	42
Pilastro 9	0.00 %	0,176	67	0.00 %	0,142	54
Pilastro 10	0.00 %	0,196	75	0.00 %	0,138	53
Pilastro 21	0.00 %	0,077	29	0.00 %	0,083	32
Pilastro 31	0.00 %	0,099	38	0.00 %	0,110	42
Pilastro 30	0.00 %	0,185	71	0.00 %	0,110	42
Pilastro 29	0.00 %	0,240	92	0.00 %	0,145	55
Pilastro 28	0.00 %	0,237	91	0.00 %	0,135	52
Pilastro 42	0.00 %	0,143	55	0.00 %	0,241	92
Pilastro 41	0.00 %	0,196	75	0.00 %	0,152	58
Pilastro 40	0.00 %	0,202	77	0.00 %	0,147	56
Pilastro 38	0.00 %	0,208	79	0.00 %	0,149	57
Pilastro 35	0.00 %	0,332	127	0.00 %	0,292	112
Pilastro 34	0.00 %	0,207	79	0.00 %	0,154	59
Pilastro 32	0.00 %	0,149	57	0.00 %	0,251	96
Pilastro 12	0.00 %	0,073	28	0.00 %	0,034	13
Pilastro 14	0.00 %	0,238	91	0.00 %	0,158	60

Accelerazioni Sismiche di Collasso su Beam e Shell

Id _{Elm}	FLESSIONE			TAGLIO		
	%LLI/Shell	PGA _{PF/RC}	PGA _{C/PGA_D}	%LLI/Shell	PGA _T	PGA _{C/PGA_D}
			[%]			[%]
Pilastro 15	0.00 %	0,227	87	0.00 %	0,162	62
Pilastro 16	0.00 %	0,187	71	0.00 %	0,105	40
Pilastro 17	0.00 %	0,261	100	0.00 %	0,126	48
Pilastro 18	0.00 %	0,252	96	0.00 %	0,122	46
Pilastro 19	0.00 %	0,153	59	0.00 %	0,072	28
Pilastro 20	0.00 %	0,153	59	0.00 %	0,108	41
Pilastro 27	0.00 %	0,252	96	0.00 %	0,126	48
Pilastro 26	0.00 %	0,270	103	0.00 %	0,134	51
Pilastro 23	0.00 %	0,318	121	0.00 %	0,159	61
Pilastro 22	0.00 %	0,222	85	0.00 %	0,141	54
Pilastro 33	0.00 %	0,251	96	0.00 %	0,166	63
Pilastro 36	0.00 %	0,369	141	0.00 %	0,264	101
Pilastro 37	0.00 %	0,202	77	0.00 %	0,151	58
Pilastro 11	0.00 %	0,154	59	0.00 %	0,219	84
Pilastro 39	0.00 %	0,191	73	0.00 %	0,163	62
Pilastro 13	0.00 %	0,154	59	0.00 %	0,068	26
Trave 37-38	0.00 %	0,143	55	0.00 %	0,031	12
Trave 33-34	100.00 %	0,163	62	100.00 %	0,005	2
Trave 41-42	100.00 %	0,158	61	100.00 %	0,005	2
Trave 39-40	0.00 %	0,132	50	0.00 %	0,008	3
Trave 40-41	100.00 %	0,199	76	0.00 %	0,037	14
Trave 38-39	100.00 %	0,153	59	100.00 %	0,020	7
Trave 31-42	100.00 %	0,231	88	100.00 %	0,239	91
Trave 21-31	0.00 %	0,149	57	100.00 %	0,074	28
Trave 11-21	0.00 %	0,228	87	0.00 %	0,231	88
Trave 10-11	100.00 %	0,210	80	100.00 %	0,022	8
Trave 4-5	100.00 %	0,177	68	0.00 %	0,056	21
Trave 8-9	0.00 %	0,169	65	100.00 %	0,028	11
Trave 9-10	0.00 %	0,171	65	0.00 %	0,016	6
Trave 2-3	100.00 %	0,142	54	100.00 %	0,017	6
Trave P3-32	0.00 %	0,143	55	0.00 %	0,089	34
Trave 1-12	0.00 %	0,212	81	0.00 %	0,237	91
Trave 12-P1	12.50 %	0,106	41	100.00 %	0,053	20
Trave 22-33	100.00 %	0,383	146	100.00 %	0,337	129
Trave 13-22	100.00 %	0,207	79	0.00 %	0,116	44
Trave 15-23	100.00 %	0,274	105	100.00 %	0,091	35
Trave P1-P2	87.50 %	0,461	176	100.00 %	0,200	76
Trave 23-34	0.00 %	0,293	112	100.00 %	0,169	65
Trave 26-35	100.00 %	0,314	120	100.00 %	0,205	78
Trave 27-36	100.00 %	0,311	119	100.00 %	0,220	84
Trave 28-37	100.00 %	0,343	131	100.00 %	0,311	119
Trave 29-39	100.00 %	0,335	128	100.00 %	0,318	122
Trave 30-41	100.00 %	0,284	108	100.00 %	0,235	90
Trave 16-26	0.00 %	0,254	97	100.00 %	0,072	27
Trave 17-27	0.00 %	0,231	88	100.00 %	0,136	52
Trave 18-28	100.00 %	0,222	85	0.00 %	0,123	47
Trave 19-29	100.00 %	0,221	84	0.00 %	0,126	48
Trave 20-30	100.00 %	0,174	66	0.00 %	0,097	37
Trave 9-20	0.00 %	0,351	134	0.00 %	0,350	134
Trave 8-19	0.00 %	0,356	136	0.00 %	0,362	138
Trave 7-18	0.00 %	0,331	127	0.00 %	0,315	120
Trave 6-17	0.00 %	0,345	132	0.00 %	0,308	118
Trave 5-16	0.00 %	0,365	140	0.00 %	0,337	129
Trave 5-15	0.00 %	0,277	106	100.00 %	0,223	85
Trave 3-14	100.00 %	0,390	149	0.00 %	0,369	141
Trave 2-13	0.00 %	0,364	139	0.00 %	0,379	145
Trave 13-14	100.00 %	0,227	87	100.00 %	0,025	9
Trave 15-16	100.00 %	0,320	122	100.00 %	0,162	62
Trave 19-20	100.00 %	0,220	84	100.00 %	0,031	12
Parete P2-P4	[00350-00225-00580]	0,311	119	[00350-00225-00580]	0,441	169
Parete P3-P4	[00636-00430-00431]	0,391	149	[00636-00430-00431]	0,267	102
Parete P1-P3	[00317-00226-00681]	0,280	107	[00317-00226-00681]	0,300	115
Piano Terzo						
Pilastro 4	0.00 %	0,114	44	0.00 %	0,141	54
Pilastro 1	0.00 %	0,034	13	0.00 %	0,379	145
Pilastro 2	0.00 %	0,025	10	0.00 %	0,077	30
Pilastro 3	0.00 %	0,149	57	0.00 %	0,240	92
Pilastro 5	0.00 %	0,009	3	0.00 %	0,134	51
Pilastro 6	0.00 %	0,302	115	0.00 %	0,463	177
Pilastro 7	0.00 %	0,308	118	0.00 %	1,000	200
Pilastro 8	0.00 %	0,066	25	0.00 %	0,135	52
Pilastro 9	0.00 %	0,128	49	0.00 %	0,160	61
Pilastro 10	0.00 %	0,193	74	0.00 %	0,180	69
Pilastro 31	0.00 %	0,002	1	0.00 %	0,190	73
Pilastro 30	0.00 %	0,159	61	0.00 %	0,187	72
Pilastro 29	0.00 %	0,223	85	0.00 %	0,217	83
Pilastro 28	0.00 %	0,233	89	0.00 %	0,209	80
Pilastro 42	0.00 %	0,158	60	0.00 %	0,418	160
Pilastro 41	0.00 %	0,134	51	0.00 %	0,173	66
Pilastro 40	0.00 %	0,186	71	0.00 %	0,172	66
Pilastro 38	0.00 %	0,179	68	0.00 %	0,176	67
Pilastro 35	0.00 %	0,276	106	0.00 %	0,686	200
Pilastro 34	0.00 %	0,084	32	0.00 %	0,171	65

Accelerazioni Sismiche di Collasso su Beam e Shell

Id _{Elm}	FLESSIONE			TAGLIO		
	%LLI/Shell	PGA _{PF/RC}	PGA _{C/PGA_D} [%]	%LLI/Shell	PGA _T	PGA _{C/PGA_D} [%]
Pilastro 32	0.00 %	0,097	37	0.00 %	0,281	107
Pilastro 14	0.00 %	0,158	60	0.00 %	0,201	77
Pilastro 15	0.00 %	0,154	59	0.00 %	0,184	70
Pilastro 16	0.00 %	0,050	19	0.00 %	0,101	39
Pilastro 17	0.00 %	0,191	73	0.00 %	0,175	67
Pilastro 18	0.00 %	0,209	80	0.00 %	0,188	72
Pilastro 19	0.00 %	0,034	13	0.00 %	0,072	27
Pilastro 20	0.00 %	0,067	26	0.00 %	0,131	50
Pilastro 27	0.00 %	0,159	61	0.00 %	0,175	67
Pilastro 26	0.00 %	0,148	56	0.00 %	0,178	68
Pilastro 23	0.00 %	0,172	66	0.00 %	0,191	73
Pilastro 22	0.00 %	0,110	42	0.00 %	0,149	57
Pilastro 33	0.00 %	0,143	54	0.00 %	0,178	68
Pilastro 36	0.00 %	0,264	101	0.00 %	0,561	200
Pilastro 37	0.00 %	0,123	47	0.00 %	0,234	89
Pilastro 11	0.00 %	0,148	57	0.00 %	0,286	109
Pilastro 39	0.00 %	0,162	62	0.00 %	0,253	97
Trave 37-38	0.00 %	0,212	81	0.00 %	0,086	33
Trave 32-33	0.00 %	0,235	90	100.00 %	0,073	28
Trave 33-34	100.00 %	0,266	102	100.00 %	0,071	27
Trave 41-42	0.00 %	0,270	103	0.00 %	0,077	29
Trave 39-40	0.00 %	0,207	79	0.00 %	0,062	24
Trave 40-41	100.00 %	0,343	131	0.00 %	0,123	47
Trave 38-39	100.00 %	0,236	90	100.00 %	0,075	29
Trave 31-42	100.00 %	0,384	147	100.00 %	0,419	160
Trave 21-31	12.50 %	0,291	111	100.00 %	0,152	58
Trave 11-21	0.00 %	0,388	148	0.00 %	0,410	157
Trave 10-11	87.50 %	0,409	156	100.00 %	0,134	51
Trave 4-5	87.50 %	0,267	102	0.00 %	0,120	46
Trave 8-9	12.50 %	0,273	104	0.00 %	0,077	29
Trave 9-10	0.00 %	0,308	118	0.00 %	0,104	40
Trave 2-3	100.00 %	0,248	95	100.00 %	0,065	25
Trave 1-12	0.00 %	0,252	96	0.00 %	0,302	115
Trave P3-32	0.00 %	0,158	60	0.00 %	0,102	39
Trave 22-33	100.00 %	0,558	200	100.00 %	0,543	200
Trave 13-22	100.00 %	0,335	128	0.00 %	0,204	78
Trave 15-23	100.00 %	0,464	177	100.00 %	0,213	81
Trave P2-P1	12.50 %	0,511	195	0.00 %	0,232	89
Trave 23-34	0.00 %	0,510	195	0.00 %	0,411	157
Trave 26-35	100.00 %	0,509	195	100.00 %	0,434	166
Trave 27-36	100.00 %	0,552	200	100.00 %	0,485	185
Trave 28-37	100.00 %	0,577	200	100.00 %	0,585	200
Trave 29-39	100.00 %	0,578	200	100.00 %	0,602	200
Trave 30-41	100.00 %	0,553	200	100.00 %	0,531	200
Trave 16-26	0.00 %	0,428	164	100.00 %	0,171	65
Trave 17-27	0.00 %	0,441	169	100.00 %	0,269	103
Trave 18-28	100.00 %	0,449	172	0.00 %	0,266	102
Trave 19-29	100.00 %	0,440	168	0.00 %	0,278	106
Trave 20-30	100.00 %	0,370	142	0.00 %	0,223	85
Trave 9-20	0.00 %	0,601	200	0.00 %	0,650	200
Trave 8-19	0.00 %	0,611	200	0.00 %	0,678	200
Trave 7-18	0.00 %	0,564	200	0.00 %	0,595	200
Trave 6-17	0.00 %	0,578	200	0.00 %	0,582	200
Trave 5-16	0.00 %	0,587	200	12.50 %	0,598	200
Trave 5-15	0.00 %	0,509	194	0.00 %	0,514	196
Trave 3-14	100.00 %	0,494	189	0.00 %	0,530	200
Trave 2-13	0.00 %	0,494	189	0.00 %	0,556	200
Trave 13-14	100.00 %	0,407	156	100.00 %	0,108	41
Trave 14-15	0.00 %	0,423	162	0.00 %	0,101	39
Trave 15-16	100.00 %	0,532	200	100.00 %	0,333	127
Trave 23-26	0.00 %	0,486	186	0.00 %	0,164	63
Trave 19-20	100.00 %	0,365	140	0.00 %	0,108	41
Trave 12-P1	12.50 %	0,135	52	100.00 %	0,065	25
Trave 22-P2	0.00 %	0,337	129	100.00 %	0,088	34
Trave 3-4	0.00 %	0,236	90	0.00 %	0,067	26
Parete P2-P4	[00594-00369-00370]	0,817	200	[00594-00369-00370]	0,452	173
Parete P3-P4	[00303-00304-00564]	1,075	200	[00303-00304-00564]	0,262	100
Parete P1-P3	[00572-00333-00334]	0,543	200	[00572-00333-00334]	0,452	173
Piano di copertura						
Trave P2-P1	0.00 %	10,346	200	75.00 %	5,213	200
Parete P2-P4	[00382-00246-00602]	4,949	200	[00382-00246-00602]	2,037	200
Parete P3-P4	[00308-00615-00309]	4,122	200	[00308-00615-00309]	1,759	200
Parete P1-P3	[00413-00244-00621]	5,754	200	[00413-00244-00621]	1,481	200

LEGENDA:

- Id_{Elm}** Identificativo dell'elemento strutturale.
- %LLI/Shell** Rigidezza equivalente orizzontale in direzione x
- PGA_{PF/RC}** Accelerazione sismica di collasso per PRESSOFLESSIONE o FLESSIONE/ROTAZIONE ALLA CORDA. [0] = l'elemento risulta non verificato già per i carichi verticali presenti nella combinazione sismica $[G_k + \sum_i(\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})]$.
- N.B.:** per gli elementi beam (travi e pilastri), nel caso di calcolo Non Lineare, la PGA è quella relativa al meccanismo di collasso per verifica di rotazione alla corda.
- PGA_T** Accelerazione sismica di collasso per TAGLIO. [0] = l'elemento risulta non verificato già per i carichi verticali presenti nella combinazione sismica $[G_k + \sum_i(\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})]$.

Accelerazioni Sismiche di Collasso su Beam e Shell						
Id _{Elm}	FLESSIONE			TAGLIO		
	%LLI/Shell	PGA _{PF/RC}	PGA _C /PGA _D [%]	%LLI/Shell	PGA _T	PGA _C /PGA _D [%]
PGA _C /PGA _D	Rapporto tra la PGA di "capacità" (PGA _C) dell'elemento e quella di "domanda" (PGA _D = S _S · S _T · a _g /g). [200] = PGA _C > 2 · PGA _D .					

9. PROPOSTA DI EVENTUALI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO

Come si evince dalle indagini e analisi numeriche svolte, l'edificio in esame necessita di interventi di rinforzo strutturale per la sua messa in sicurezza rispetto all'azione sismica. **Si ribadisce, come già evidenziato in precedenza, la necessità di eseguire indagini conoscitive ancora più approfondite sull'edificio al fine di conseguire un grado di conoscenza adeguato, senza escludere una campagna di rilievo mediante sensori strutturali opportunamente collocati e distribuiti nella struttura che definiscano le reazioni della struttura alle specifiche frequenze rilevate e raffrontate con quelle riscontrate dall'INGV e pubblicate tempo per tempo sul suo sito.** E' importante sottolineare come l'obiettivo dell'intervento sia quello del miglioramento fino all'adeguamento sismico di una struttura pubblica ad uso scolastico, e quindi una struttura strategica che rientra tra gli edifici rilevanti contenuti nella D.G.R. n°3645 del 28/11/2003, il cui obbligo di verifica è imposto dall'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003. Considerando i risultati ottenuti dalla valutazione della vulnerabilità sismica, basata sulla attuale conoscenza del complesso strutturale, in mancanza di ulteriori indagini approfondite, si ritengono necessari interventi locali di prevenzione sismica.

La realizzazione dell'edificio è da far risalire ad un periodo in cui le norme sismiche non erano ancora state emanate.

La struttura dell'edificio manifesta insufficienti capacità portanti conseguenti alle più recenti modifiche normative e neppure a quelle precedenti.

Un miglioramento di facile applicazione è certamente rappresentato dall'applicazione di lamelle in materiale pultruso alle travature di copertura dei Laboratori, così come opportune fasciature delle travi, migliorando l'effetto cerniera incastro in corrispondenza degli appoggi, garantendo un'elevata resistenza meccanica ed un particolare aumento della resistenza a trazione senza ulteriore incremento di peso. La semplice cerchiatura dei pilastri con fibre di carbonio garantirebbe un notevole miglioramento sismico.

Per quanto riguarda il secondo corpo adiacente alla struttura, destinato alle attività didattiche, l'applicazione di squadrette nei nodi comporterebbe un rafforzamento locale molto importante. Per migliorare la portanza e ridurre le deformazioni a flessione delle travi, contraddistinte da luci notevoli tra gli appoggi, mediante fibra di carbonio si raggiungerebbero prestazioni meccaniche assolutamente più adeguate con costi di intervento modesti.

Ovviamente una conoscenza maggiore dell'intero complesso strutturale darà la possibilità di definire dettagliati interventi da intraprendere ed una stima accurata dei costi per ottenere l'adeguamento sismico richiesto dalle ultime Norme tecniche per le costruzioni.

Il Tecnico

San Mauro Pascoli li 31/01/2019