

## PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA

Componente 1 – Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università -  
Investimento 1.1 “Piano per asili nido e scuole dell'infanzia e servizi di educazione e cura per la prima  
infanzia”



### ***PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA***

*Messa in sicurezza e Riqualificazione mediante intervento di sostituzione edilizia del Plesso Infanzia dell'I.C. 80° Berlinguer - (Cod. Ares 0630491412)*

Responsabile del Procedimento:

**Arch. Alfonso Ghezzi**

Progettisti:

**Ing. Marianna Vanacore  
Arch. Laura Bellino**

TAVOLA:

**R.02**

Descrizione elaborato:

**Relazione Specialistica Strutturale**

Scala:

Data:

**MARZO 2022**

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra gli esiti delle verifiche e soluzioni progettuali proposte per adeguamento strutturale dai tecnici esterni al Comune in merito al “*servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65117000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD*” relativa al Plesso dell’Infanzia dell’I.C. 80 Berlinguer– Cod. Ares 0630491412.

Le verifiche condotte in merito al summenzionato appalto sono finalizzate alla determinazione dei livelli di adeguatezza sismica delle opere rispetto agli standard definiti dalle norme tecniche e dalla classificazione sismica vigente. Inoltre la presente relazione illustra gli eventuali interventi da eseguire sulla base degli attuali livelli di sicurezza sismica delle strutture. Per valutazione della sicurezza si intende un procedimento quantitativo volto a stabilire se un edificio esistente è in grado o meno di resistere alla combinazione sismica di progetto prevista dalle norme vigenti in zona sismica (D.M. 17.01.2018 e Circolare C.S. LL.PP. del 17 gennaio 2019 n.7.)

La valutazione della sicurezza è stata eseguita, coerentemente a quanto previsto dalla vigente normativa, per le seguenti prestazioni strutturali:

- Per gli *Stati limite Ultimi*, è stata definita la vulnerabilità relativa allo *Stato limite di Salvaguardia della Vita*, corrispondente una probabilità di superamento del 10%;
- Per gli *Stati Limite di Esercizio*, è stata definita la vulnerabilità relativa allo Stato Limite di Danno, corrispondente ad una probabilità di superamento dell'63%.

Trattandosi di edifici esistenti, le verifiche sono state effettuate previa campagna di indagini volta a determinare la conoscenza della struttura in esame in relazione ai livelli stabiliti dalle norme. L’obiettivo raggiunto è relativo ad un **livello di conoscenza** denominato **LC2**.

Viene riportato nella figura a seguire, l’inquadramento territoriale della struttura oggetto di studio:



Figura 1 – Inquadramento dell’edificio oggetto di indagine e verifica sismica



## 2 NORMATIVA UTILIZZATA

Le normative cui si è fatto riferimento nelle fasi di calcolo e di progettazione, sono quelle previste dalla Legge.

### Normativa di riferimento

- **D.M. 17 gennaio 2018** – Norme tecniche per le costruzioni
- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7** – Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

### 3.2. Riferimenti tecnici essenziali

- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 n.3274** – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 2 ottobre 2003 n.3316** – Modifiche e integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 maggio 2005 n.3431**
- **UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1**: Regole generali e regole per gli edifici.
- **UNI EN 206-1/2001** – Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.
- **UNI EN 1993-1-1 – Parte 1-1**: Regole generali e regole per gli edifici.
- **UNI EN 1998-1** – Azioni sismiche e regole sulle costruzioni
- **UNI EN 1998-5** – Fondazioni ed opere di sostegno
- **Legge 5.11.1971 n. 1086** – Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso e a struttura metallica.
- **Legge 2.02.1974 n. 64** – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche .

## 3 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

### 3.1 Descrizione architettonica e funzionale dell'opera

L'edificio in esame sorge in un lotto di terreno pianeggiante di forma pressoché rettangolare, il lato più lungo del fabbricato misura 57 m circa mentre il lato corto ha uno sviluppo in pianta di circa 15 m..

L'ingresso all'edificio, sia pedonale che carrabile, avviene dalla citata Traversa quarta Cassano.



Figura 2: Inquadramento del lotto

La configurazione dell'edificio è caratterizzata da un unico corpo strutturale avente una volumetria pari a circa 6707 mc. L'edificio ha un piano seminterrato LG1 (S = 820 mq, h = 1.80 m, V = 1476 mc), un piano terra GF leggermente rialzato rispetto alla sede stradale LG1 (S = 820 mq, h = 3.30 m, V = 2706 mc) e un piano primo (S = 765 mq, h = 3.30 m, V = 2524 mc). Si riportano di seguito i dati metrici delle superfici dei diversi piani, le relative altezze e volumetrie.

7.20.191 BERLIGNUER - Infanzia				
PLESSO	PIANO	SUPERFICIE [m <sup>2</sup> ]	ALTEZZA [m]	VOLUME [m <sup>3</sup> ]
INFANZIA	LG1	820,0	1,80	1476,0
	GF	820,0	3,30	2706,0
	F1	765,0	3,30	2524,5
<b>TOTALE</b>		<b>2460</b>		<b>6707</b>

Tabella 1: Tabella valori dimensionali

Il fabbricato consta di un edificio di n.3 piani fuori terra, con altezza media netta di piano di 3.0 metri e superficie media di piano di circa 800 mq. Il corpo di fabbrica è realizzato con struttura resistente in calcestruzzo armato.

Una scala di sicurezza esterna, con struttura in carpenteria metallica, connette i piani fuori terra del fabbricato; la stessa è esclusa dalle verifiche tecniche essendo stata realizzata di recente.

### 3.2 DESCRIZIONE STRUTTURALE DEL FABBRICATO

La struttura resistente del fabbricato utilizzato per attività scolastica è in calcestruzzo armato e si sviluppa su tre elevazioni. Al piano interrato è stata rilevata una muratura in tufo avente spessore di circa 40 cm, estesa lungo tutto il perimetro del fabbricato con funzione paraterra oltre che di tamponamento per la modesta porzione del piano fuoriterra.

Le strutture in elevazione costituite da telai in c.a., sono caratterizzate da una rastremazione della sezione dei pilastri ai piani superiori mentre le travi sono tutte di tipo emergente nel primo impalcato (piano interrato) e di tipo emergente e a spessore negli impalcati superiori.

I telai sono orientati lungo le due direzioni principali e si rilevano alcune travi oblique. Le campate hanno luci molto irregolari con lunghezze variabili comprese fra 7 metri e 2 metri determinando una elevata irregolarità strutturale.

Dai report delle indagini eseguite, emerge inoltre un modesto quantitativo di armatura nei pilastri rispetto all'armatura rilevata nelle travi, comprovando la progettazione non sismo-resistente del fabbricato (edificio progettato per soli carichi verticali); ne consegue il probabile comportamento a mensola delle strutture con prematuro collasso dei pilastri in presenza di azioni orizzontali.

La tipologia costruttiva dei solai è del tipo laterocementizio con travetti precompressi e altezza complessiva pari a 34 cm (30+4), pertanto la presenza di una caldana di spessore non inferiore a 4 cm, definisce diaframmi rigidi nel proprio piano.

La copertura piana del fabbricato è anche costituita dalla tipologia di solai sopraccitata. Le tamponature sono distribuite irregolarmente in pianta e presentano estremità arrotondate con collegamenti non a squadra e sono prive di presidi antiribaltamento.

Si riportano di seguito, a titolo esemplificativo, alcune delle sezioni riscontrate in fase di rilievo da parte dei tecnici incaricati per i "servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici

scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65117000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD”

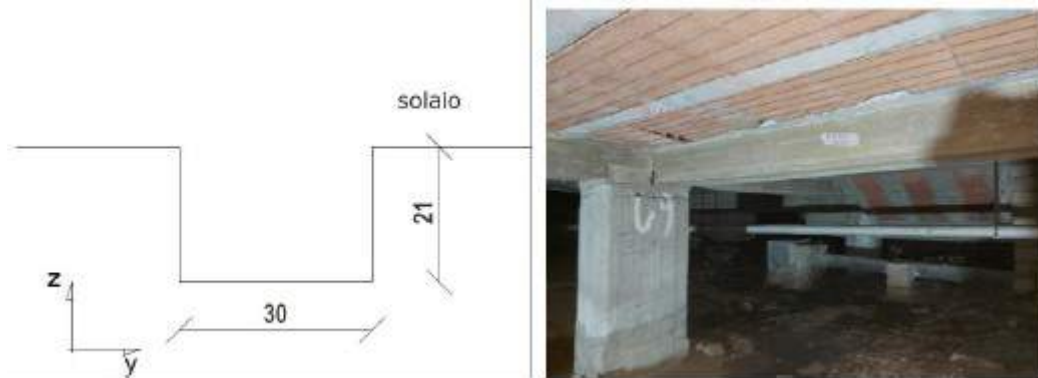


Figura 3: Rilievo trave P11-12 – piano interrato

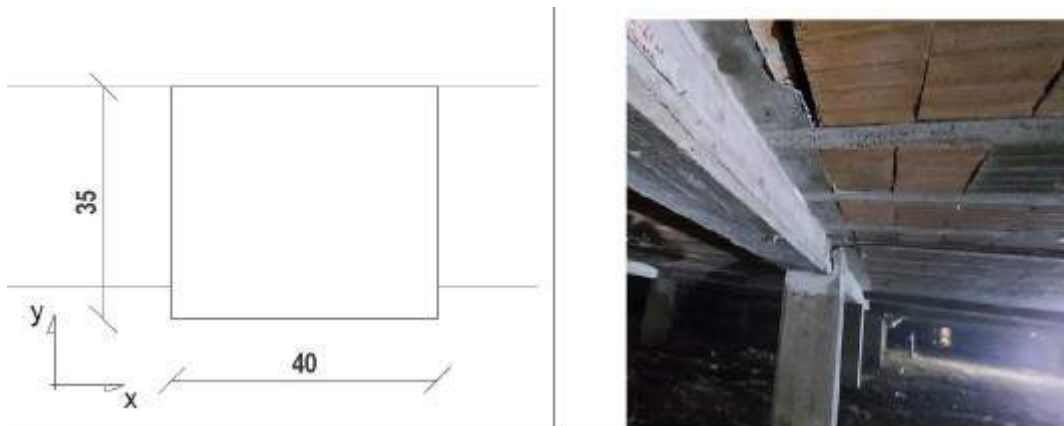


Figura 4: Rilievo pilastro P 43 – piano interrato



Figura 5: Saggio pilastro P 39 – piano interrato

### 3.2.1 Giunti fra i corpi

Non sono stati rilevati giunti sismici, in quanto si tratta di un unico corpo di fabbrica.

### 3.3 DEGRADI STRUTTURALI

Dall'esame visivo condotto sul fabbricato non sono emersi degradi strutturali rilevanti, ad eccezione di limitate porzioni di travi e pilastri del piano interrato in cui è stata rilevata una modesta ossidazione delle armature.

In alcuni ambienti del piano terra (alloggio custode) è stata rilevata un'elevata esfoliazione con distacco delle finiture; la causa di tale degrado è la mancata manutenzione dell'impermeabilizzazione del solaio di copertura dei locali interessati.

## 4 OBIETTIVI E RISULTATI DEL PIANO DELLE INDAGINI

In assenza dei disegni costruttivi sono state previste prove estese in situ, mirate al raggiungimento di un livello di conoscenza pari a LC2. Per i corpi strutturali in esame, sono stati quindi indagati gli elementi più rappresentativi ai vari ordini e a ciascun impalcato, così da maturare una migliore conoscenza dell'organismo strutturale.

### 4.1 GEOMETRIE

La geometria della struttura è nota in base al rilievo eseguito durante i sopralluoghi dai tecnici incaricati per i *“servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65I17000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD”*, e dai disegni disponibili. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, sono stati utilizzati nel suddetto servizio per la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

### 4.2 DETTAGLI COSTRUTTIVI

Non essendo stati acquisiti, i dettagli costruttivi di progetto, durante l'appalto dei *“servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65I17000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD”*, è stata effettuata un'estesa verifica in situ, tale da consentire la messa a punto di un modello strutturale non lineare. I dati che sono stati raccolti includono le informazioni relative ad una percentuale superiore al 35% degli elementi resistenti di seguito elencate:

- Quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri, pareti e sua disposizione;
- Quantità di barre di armatura piegate che contribuiscono alla resistenza a taglio, presenti nelle travi;
- Quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- Quantità di armatura longitudinale che contribuisce al momento negativo di travi a T, presente nei solai;
- Lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- Spessore dei copriferrì;

### 4.3 MATERIALI

Non conoscendo le specifiche dei materiali prescritti nel progetto originario, ai fini della valutazione delle loro proprietà meccaniche, sia per i pilastri che per le travi e impalcato, sono state effettuate *“prove estese in situ”* con esecuzione di prove distruttive consistenti prelievo di carote e di barre di armatura.

Dalle prove dirette, effettuate durante la campagna di indagine, summenzionata, sugli elementi strutturali esistenti sono stati assunti i valori a base di calcolo dei materiali utilizzati per le verifiche statiche e sismiche. Sono state effettuate prove atte a caratterizzare la resistenza meccanica degli elementi lo schema portante dei vari corpi strutturali, effettuando prove distruttive consistenti in carotaggi per quel che riguarda il calcestruzzo e prelievi di barra per quel che riguarda l'acciaio.



#### 4.3.1 Caratteristiche del calcestruzzo

Le norme prevedono che la misura delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo si ottenga mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura. Nella tabella seguente vengono riportati i risultati di tali prove di compressione così come riportati sul report delle indagini del “servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65117000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD”.

SIGLA CAMPIONE	UBICAZIONE	DIAMETRO PROVINO (mm)	ALTEZZA PROVINO (mm)	MASSA VOLUMICA (Kg/m <sup>3</sup> )	RESIST. A COMPR. (N/mm <sup>2</sup> )
CP 17 INT	Pilastro 17 Piano interrato	94	94	2232	20.9
CP 31 INT	Pilastro 31 Piano interrato	94	94	2227	19.5
CP 47 INT	Pilastro 47 Piano interrato	94	94	2140	18.2
CP 24 INT	Pilastro 24 Piano interrato	94	94	2163	20.1
CT 17-18 INT	Trave 17-18 Piano interrato	94	94	2350	39.3
CT 46-47 INT	Trave 46-47 Piano interrato	94	94	2212	24.6
CT 8-20 INT	Trave 8-20 Piano interrato	94	94	2201	23.9
CT 7-8 INT	Trave 7-8 Piano interrato	94	94	2287	28.5
CP 33 PT	Pilastro 33 Piano terra	94	94	2266	26.9
CP 39 PT	Pilastro 39 Piano terra	94	94	2158	22.3
CT 45-46 PT	Pilastro 45-46 Piano terra	94	94	2350	39.8
CT 59-60 PT	Trave 59-60 Piano terra	94	94	2235	29.8
CT 2-3 PT	Trave 2-3 Piano terra	94	94	2332	34.8
CT 8-20 PT	Trave 8-20 Piano terra	94	94	2131	26.1
CP 8 PT	Pilastro 8 Piano terra	94	94	2160	22.1
CP 20 PT	Pilastro 20 Piano terra	94	94	2296	22.4
CT 27-51 1°P	Trave 27-51 Piano primo	94	94	2232	23.2
CT 4-18 1°P	Trave 4-18 Piano primo	94	94	2099	23.1
CT 48-49 1°P	Trave 48-49 Piano primo	94	94	2158	29.8
CP 36 1°P	Pilastro 36 Piano primo	94	94	2309	22.1
CP 12 1°P	Pilastro 12 Piano primo	94	94	2250	26.1
CP 29 1°P	Pilastro 29 Piano primo	94	94	2223	21.4

Tabella 2: Risultati prove di compressione

La resistenza misurata sulle carote risente di numerosi fattori che la differenziano da quella che si misurerebbe su un equivalente provino standard.

Tali fattori sono in genere dipendenti da:

- 1) diverse modalità di preparazione e stagionatura;
- 2) differente età di stagionatura tra carota e provino standard;
- 3) posizione del prelievo nell'ambito dell'elemento strutturale (ad es. al piede o alla testa di un pilastro, parallelamente o ortogonalmente alla direzione di getto);
- 4) disturbo che inevitabilmente consegue alle operazioni di prelievo;
- 5) dimensioni delle carote (ad es. nel caso di micro-carote o con H/D diverso da 2);
- 6) presenza di armature incluse.

L'effetto dei fattori sopra elencati tende in generale a far sottostimare la resistenza rispetto a quella degli analoghi provini standard. Per correggere ciò si può fare ricorso a coefficienti correttivi di cui si dirà successivamente, opportunamente calibrati ed inseriti all'interno di formule di correlazione che legano la resistenza "attuale" (quella reale in situ dei calcestruzzi) con quella misurata sui campioni cilindrici (carote) estratte dagli stessi elementi strutturali.

La valutazione della resistenza in situ viene eseguita utilizzando la formula proposta da Holos. Tale formula permette di tener conto con coefficienti di natura empirica degli effetti del carotaggio.

Per convertire le N resistenze ottenute dalle prove di compressione sulle carote  $f_{car}$  nelle corrispondenti resistenze in-situ  $R_{c, is}$ , viene adottata la relazione proposta da Holos:

$$R_{c, is} = f_{car} \times F_{h/d} \times F_{fe} \times F_{tor} \times F_{dir} \times F_t \times F_T$$

dove:

$F_{h/d}$  è il parametro dipendente dal rapporto tra l'altezza e il diametro della carota. Il valore è unitario se  $H/D=1$ .

$F_{fe}$  è il parametro che tiene conto della presenza di barre d'armatura nella carota. Assume valore unitario in assenza di barre.

$F_{tor}$  è il parametro che tiene conto del tormento della carota per la presenza di microlesioni dovute agli effetti torsionali del carotiere durante la fase di estrazione. Il coefficiente correttivo è tabellato in funzione della resistenza registrata in laboratorio ed assume valori compresi tra 1 e 1.15.

$F_{dir}$  è il coefficiente correttivo che tiene conto della direzione del carotaggio rispetto a quella di posa in opera del conglomerato. Per direzione ortogonale il parametro varia tra 1.05 e 1.10.  $F_t$  è il coefficiente correttivo che tiene conto dell'età del calcestruzzo. Assume valore unitario per carote sottoposte a compressione ad età maggiori di 28 giorni.  $F_T$  è il coefficiente correttivo che tiene conto della temperatura in funzione dell'età del calcestruzzo. Assume valore unitario se la temperatura media ponderale è compresa tra 18°C e 27°.

Il metodo è applicato a ciascuna carota sottoposta a prova di compressione fornendo i valori delle resistenze meccaniche del calcestruzzo a base di calcolo. Nelle tabelle seguenti, si riportano i risultati delle prove di compressione sulle carote estratte elaborati con il metodo L. Holos.

Valutazione della Resistenza Cubica di sito calcolata mediante "Holos Method" - Piano -1															
Id	Elemento	d [mm]	h [mm]	$R_c$ [MPa]	h/d	$F_{h/d}$	$F_{fe}$	$F_{tor}$	$F_{dir}$	$F_t$	$F_T$	$C_{cu}$	$R_{c, is}$	$f_{cu}$	$C_{cm}$
CP 17 INT	Pilastro 17	94,3	94,3	25,90	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,05	1,12	30,23	25,08	2,57
CP 31 INT	Pilastro 31	94,3	94,3	19,50	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,12	1,05	1,18	22,95	19,00	2,14
CP 47 INT	Pilastro 17	94,3	94,3	18,20	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,12	1,05	1,18	21,48	17,78	2,34
CP 24 INT	Pilastro 24	94,3	94,3	20,10	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,12	1,05	1,18	23,54	19,62	2,19
CT 37-18 INT	Trave 37-18	94,3	94,3	39,50	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,03	1,07	42,09	34,93	3,21
CT 46-47 INT	Trave 46-47	94,3	94,3	24,80	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	1,05	1,18	28,04	23,77	2,49
CT 8-39 INT	Trave 8-20	94,3	94,3	23,90	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	1,05	1,18	27,56	22,91	2,42
CT 7-9 INT	Trave 7-8	94,3	94,3	28,50	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,05	1,12	32,00	26,88	2,57
													38,37	33,71	2,46

Tabella 3: Resoconto carotaggi – piano -1



Valutazione della Resistenza Cubica di sito calcolata mediante "Holos Method" - Piano Terra e piano primo																
Id	Elemento	d(mm)	h(mm)	R <sub>c</sub> (MPa)	h/d	F <sub>NV</sub>	F <sub>90</sub>	F <sub>50</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>2</sub>	C <sub>ed</sub>	R <sub>adm</sub>	f <sub>lim</sub>	f <sub>lim</sub>	f <sub>lim</sub>
CP 30 PT	Piastra 31	54,0	54,0	26,90	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,05	1,10	30,22	25,08	2,57	
CP 35 PT	Piastra 39	54,0	54,0	22,30	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,05	1,16	25,76	21,38	2,31	
CT 45-46 PT	Trave 45-46	54,0	54,0	29,80	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,05	1,07	42,52	35,38	2,23	
CT 55-60 PT	Trave 55-60	54,0	54,0	29,80	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,05	1,10	32,48	27,79	2,75	
CT 2-3 PT	Trave 2-3	54,0	54,0	34,80	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,05	1,10	38,37	31,84	2,01	
CT 8-20 PT	Tavola 8-20	54,0	54,0	26,10	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,05	1,10	29,32	24,34	2,52	
CP 8 PT	Piastra 8	54,0	54,0	22,10	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,05	1,16	25,53	21,19	2,30	
CP 20 PT	Piastra 20	54,0	54,0	22,40	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,05	1,16	25,87	21,47	2,32	
CT 27-41 1P	Trave 27-41	54,0	54,0	23,20	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,05	1,16	26,80	22,34	2,37	
CT 4-11 1P	Trave 4-11	54,0	54,0	23,10	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,05	1,16	26,68	22,14	2,37	
CT 48-49 1P	Trave 48-49	54,0	54,0	28,60	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,05	1,10	32,10	26,67	2,98	
CP 36 1P	Piastra 36	54,0	54,0	22,10	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,05	1,16	25,53	21,19	2,30	
CP 12 1P	Piastra 12	54,0	54,0	26,10	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,05	1,10	29,32	24,34	2,52	
CP 25 1P	Piastra 25	54,0	54,0	21,40	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,05	1,16	24,72	20,52	2,25	
													29,74	24,88	2,94	

Tabella 4: Resoconto carotaggi – piano terra e piano primo

E' stato effettuato uno studio statistico per valutare la dispersione dei risultati e l'omogeneità dei dati ottenuti; in particolare sono state calcolate le seguenti espressioni statistiche:

- **media aritmetica:** somma dei valori numerici ottenuti nei singoli provini divisa per il numero totale dei provini;

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- **scarto quadratico medio:** indicatore di dispersione di una distribuzione di valori; si definisce esplicitamente come:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{q})^2}{n}}$$

- **varianza:** indicatore della dispersione dei valori di una distribuzione rispetto ad un indicatore preso come riferimento; si definisce esplicitamente come:

$$\sigma^2 = \left( \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{q})^2}{n}} \right)^2$$

Dato un insieme di n unità statistiche, dove min e max sono i valori minimi e massimi tra le unità, il massimo valore che può assumere la varianza è pari a :

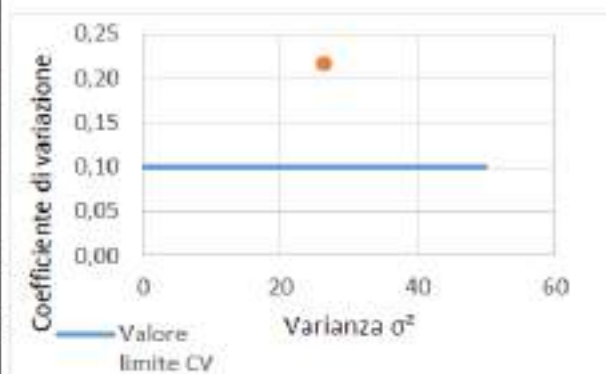
$$\sigma_{\max}^2 = \frac{(\max - \min)^2}{4}$$

E' prassi scartare dei valori delle grandezze di partenza qualora la varianza si oltre il suo valore massimo. Si è altresì ricavato il coefficiente di variazione che rappresenta un indice di dispersione adimensionale e fornisce il grado di precisione di una misura; tale indice viene calcolato come il rapporto tra lo scarto quadratico medio e la media aritmetica.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{q}}$$

Per il caso in esame, si è posto come limite di accettabilità un valore di CV pari a 0.10

Risultati Carote Piano Interrato		
Sigla prova	N. provini	f <sub>cm</sub> [Mpa]
CP 17 INT	1	25,08
CP 31 INT	2	19,03
CP 47 INT	3	17,76
CP 24 INT	4	19,62
CT 17-18 INT	5	34,93
CT 46-47 INT	6	23,77
CT 8-20 INT	7	22,91
CT 7-8 INT	8	26,58
<b>Media <math>\bar{q}</math></b>		<b>23,71</b>
<b>Varianza <math>\sigma^2</math></b>		<b>26,34</b>
<b>Scarto quadratico medio <math>\sigma</math></b>		<b>5,13</b>
<b>Coefficiente di variazione</b>		<b>0,22</b>
<b><math>\sigma^2</math>max</b>		<b>73,70</b>



Figura

6: Risultati carote piano interrato

Risultati Carote Piano Terra e Piano Primo		
Sigla prova	N. provini	f <sub>cm</sub> [Mpa]
CT 45-46 PT	1	35,38
CT 2-3 PT	2	31,84
CP 33 PT	3	25,08
CP 39 PT	4	21,38
CT 59-60 PT	5	27,79
CT 8-20 PT	6	24,34
CP 8 PT	7	21,19
CP 20 PT	8	21,47
CT 27-51 1P	9	22,24
CT 4-18 1P	10	22,14
CT 48-49 1P	11	26,67
CP 36 1P	12	21,19
CP 12 1P	13	24,34
CP 29 1P	14	20,52
<b>Media <math>\bar{q}</math></b>		<b>24,68</b>
<b>Varianza <math>\sigma^2</math></b>		<b>18,22</b>
<b>Scarto quadratico medio <math>\sigma</math></b>		<b>4,27</b>
<b>Coefficiente di variazione</b>		<b>0,17</b>
<b><math>\sigma^2</math>max</b>		<b>55,24</b>

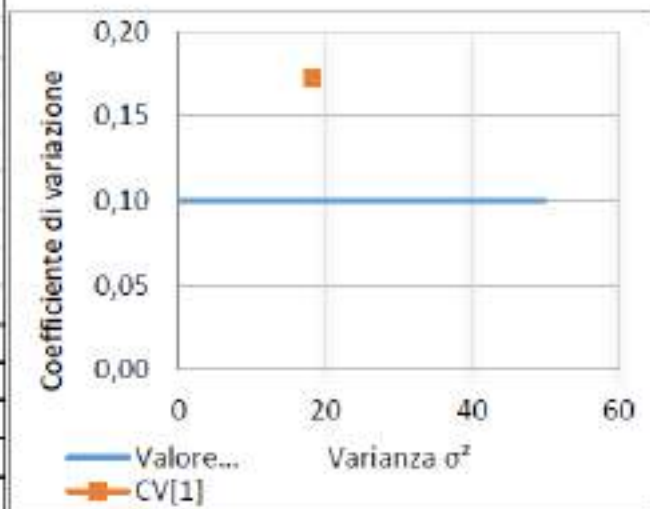


Figura 7: Risultati carote piano terra e piano primo

Analizzando la tabella e il grafico sopra riportati, il valore del coefficiente di variazione risulta essere pari a 0.17, circa il 58% in più rispetto al valore limite fissato di 0.10.

Si è scelto quindi di effettuare il calcolo a ritroso secondo il seguente iter:

- valutazione dello scarto quadratico medio limite, calcolato a partire dal valore della media aritmetica e dal valore fissato del coefficiente di variazione ( $CV=0.10$ )
- scelta dell'intervallo all'interno del quale i valori possono essere ritenuti accettabili; tale intervallo è definito dai seguenti valori limite  $\bar{q} + 2\sigma$  e  $\bar{q} - 2\sigma$

CV limite	0,10
Media $\bar{q}$	23,71
$\sigma$ limite	2,37
$\bar{q} + 2\sigma$	28,45
$\bar{q} - 2\sigma$	18,97

Tabella 5: intervallo valori accettabili (piano interrato)

CV limite	0,10
Media $\bar{q}$	24,68
$\sigma$ limite	2,47
$\bar{q} + 2\sigma$	29,62
$\bar{q} - 2\sigma$	19,75

Tabella 6: intervallo valori accettabili (piano terra e primo)

- individuazione dei valori ritenuti accettabili e di quelli da scartare nel calcolo del valore medio finale.

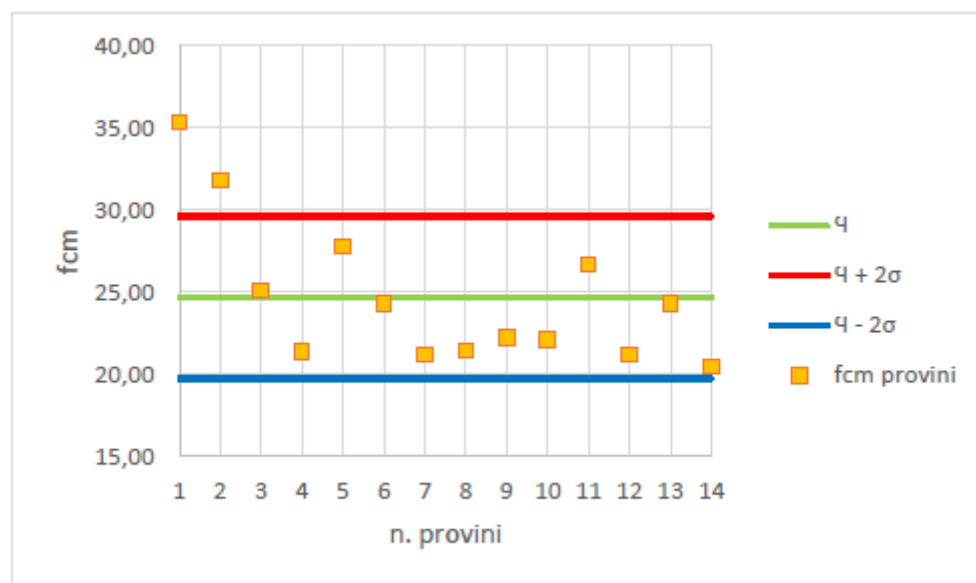


Figura 8: Individuazione dei valori da scartare – piano terra e piano primo



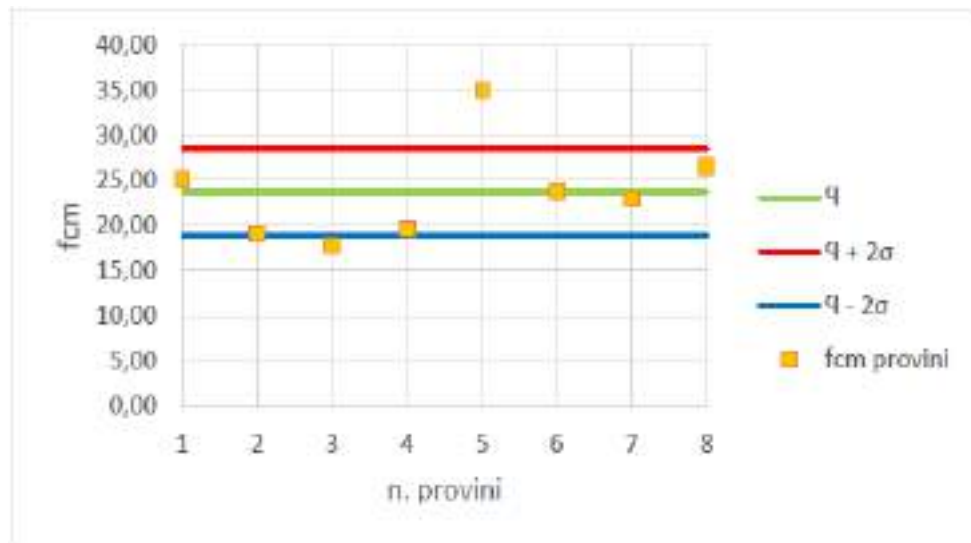


Figura 9: Individuazione dei valori da scartare – piano interrato

I valori dei provini oltre la linea rossa del grafico sopra riportato, presentano dei valori di fcm esterni rispetto l'intervallo limite e pertanto saranno esclusi dal calcolo finale. Si ricalcolano di seguito i risultati delle grandezze escludendo i campioni scartati.

Risultati Carote Piano interrato		
Sigla prova	N. provini	fcm [Mpa]
CP 17 INT	1	25,08
CP 31 INT	2	19,03
CP 24 INT	3	19,62
CT 46-47 INT	4	23,77
CT 8-20 INT	5	22,91
CT 7-8 INT	6	26,58
<b>Media <math>\bar{q}</math></b>		<b>22,83</b>
<b>Varianza <math>\sigma^2</math></b>		<b>7,46</b>
<b>Scarto quadratico medio <math>\sigma</math></b>		<b>2,73</b>
<b>Coefficiente di variazione</b>		<b>0,12</b>
<b><math>\sigma^2_{max}</math></b>		<b>14,22</b>

Tabella 8: tabella riepilogativa piano interrato

Risultati Carote Piano terra e piano primo		
Sigla prova	N. provini	fcm [Mpa]
CP 33 PT	1	25,08
CP 39 PT	2	21,38
CT 59-60 PT	3	27,79
CT 8-20 PT	4	24,34
CP 8 PT	5	21,19
CP 20 PT	6	21,47
CT 27-51 1P	7	22,24
CT 4-18 1P	8	22,14
CT 48-49 1P	9	26,67
CP 36 1P	10	21,19
CP 12 1P	11	24,34
CP 29 1P	12	20,52
<b>Media <math>\bar{q}</math></b>		<b>23,20</b>
<b>Varianza <math>\sigma^2</math></b>		<b>5,24</b>
<b>Scarto quadratico medio <math>\sigma</math></b>		<b>2,29</b>
<b>Coefficiente di variazione</b>		<b>0,10</b>
<b><math>\sigma^2_{max}</math></b>		<b>13,23</b>

Tabella 7: tabella riepilogativa piano interrato

E' stata eseguita anche la misurazione del livello di carbonatazione sui campioni appena estratti dalla struttura secondo le prescrizioni della UNI 9944/92 e con il metodo del viraggio chimico mediante la classica soluzione acquosa di fenolftaleina all'1% e al 70% di alcool etilico.

La profondità della carbonatazione spesso è superiore al copriferro e raggiunge in alcune carote la profondità di 16 cm, come riportato in dettaglio nella tabella seguente.

SIGLA CAMPIONE	DATA PRELIEVO	UBICAZIONE	LUNGHEZZA DELLA CAROTA (mm)	DIAMETRO CAROTA (mm)	LUNGHEZZA DI CARBONATAZIONE (cm)
CP 17 INT	17/9/2021	Pilastro 17 Piano interrato	200	100	7.0
CP 31 INT	17/9/2021	Pilastro 31 Piano interrato	180	100	6.5
CP 47 INT	17/9/2021	Pilastro 47 Piano interrato	180	100	8.5
CP 24 INT	17/9/2021	Pilastro 24 Piano interrato	200	100	16.0
CT 17-18 INT	17/9/2021	Trave 17-18 Piano interrato	200	100	5.0
CT 46-47 INT	17/09/2021	Trave 46-47 Piano interrato	210	100	12.0
CT 8-20 INT	17/09/2021	Trave 8-20 Piano interrato	160	100	11.0
CT 7-8 INT	17/09/2021	Trave 7-8 Piano interrato	180	100	6.0
CP 33 PT	15/9/2021	Pilastro 33 Piano terra	200	100	4.0
CP 39 PT	15/9/2021	Pilastro 39 Piano terra	220	100	4.0
CT 45-46 PT	15/9/2021	Pilastro 45-46 Piano terra	180	100	3.0
CT 59-60 PT	15/9/2021	Trave 59-60 Piano terra	180	100	5.0
CT 2-3 PT	16/9/2021	Trave 2-3 Piano terra	190	100	0.0
CT 8-20 PT	16/9/2021	Trave 8-20 Piano terra	160	100	2.0
CP 8 PT	16/9/2021	Pilastro 8 Piano terra	180	100	7.0
CP 20 PT	16/9/2021	Pilastro 20 Piano terra	170	100	5.0
CT 27-51 1°P	17/09/21	Trave 27-51 Piano primo	180	100	4.0
CT 4-18 1°P	17/09/21	Trave 4-18 Piano primo	160	100	0.0
CT 48-49 1°P **	17/09/21	Trave 48-49 Piano primo	180	100	5.0
CP 36 1°P	17/09/21	Pilastro 36 Piano primo	190	100	2.5
CP 12 1°P	17/09/21	Pilastro 12 Piano primo	190	100	3.0
CP 29 1°P	17/09/21	Pilastro 29 Piano primo	200	100	1.0

Tabella 9: indicazione delle profondità di carbonatazione misurate

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo strutturale determinate mediando i risultati delle prove di compressione sono:

RESOCONTO CAROTE PIANO -1				
Sigla prova	Piano	Elemento	R <sub>cm</sub>	f <sub>cm</sub>
CP 17 INT	-1	Pilastro 17	30,22	25,08
CP 31 INT	-1	Pilastro 31	22,93	19,03
CP 47 INT	-1	Pilastro 17	21,40	17,76
CP 24 INT	-1	Pilastro 24	23,64	19,62
CT 17-18 INT	-1	Trave 17-18	42,09	34,93
CT 46-47 INT	-1	Trave 46-47	28,64	23,77
CT 8-20 INT	-1	Trave 8-20	27,60	22,91
CT 7-8 INT	-1	Trave 7-8	32,02	26,58
<b>Media</b>			28,08	23,30
<b>Scarto quadratico medio</b>			6,46	5,36

Tabella 10: Resoconto carote (piano interrato)

RESOCONTO CAROTE (PIANO TERRA E PIANO PRIMO)				
Sigla prova	Piano	Elemento	R <sub>cm</sub>	f <sub>cm</sub>
CT 45-46 PT	T	Trave 45-46	42,63	35,38
CT 2-3 PT	T	Trave 2-3	38,37	31,84
CP 33 PT	T	Pilastro 33	30,22	25,08
CP 39 PT	T	Pilastro 39	25,76	21,38
CT 59-60 PT	T	Trave 59-60	33,48	27,79
CT 8-20 PT	T	Trave 8-20	29,32	24,34
CP 8 PT	T	Pilastro 8	25,53	21,19
CP 20 PT	T	Pilastro 20	25,87	21,47
CT 27-51 1P	1	Trave 27-51	26,80	22,24
CT 4-18 1P	1	Trave 4-18	26,68	22,14
CT 48-49 1P	1	Trave 48-49	32,13	26,67
CP 36 1P	1	Pilastro 36	25,53	21,19
CP 12 1P	1	Pilastro 12	29,32	24,34
CP 29 1P	1	Pilastro 29	24,72	20,52
<b>Media</b>			27,95	23,20
<b>Scarto quadratico medio</b>			2,76	2,29

Tabella 11: Resoconto carote (piano terra e piano interrato)

Per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi duttili e fragili, le resistenze medie in situ vengono divise per i fattori di confidenza e per i coefficienti parziali di sicurezza.

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_c \times \gamma_m}$$

Resistenza di calcolo del calcestruzzo:



Meccanismi Duttili (Flessione):

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC \times \gamma_m} = \frac{23.20}{1.2 \times 1.0} = 19.33 \text{ N/mm}^2$$

Meccanismi Fragili (Taglio):

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC \times \gamma_m} = \frac{23.20}{1.2 \times 1.5} = 12.89 \text{ N/mm}^2$$

Le caratteristiche meccaniche delle barre di acciaio da porre a base di calcolo sono state determinate sulla base dei risultati ottenuti dalla prove descritte nei precedenti paragrafi.

MATERIALE	
$f_y$ [MPa]=	391,87
$f_t$ [MPa]=	541,29

Per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi duttili e fragili, le resistenze medie in situ vengono divise per i fattori di confidenza e per i coefficienti parziali di sicurezza.

#### 4.3.2 Caratteristiche dell'acciaio

Le indagini distruttive e non su campioni metallici hanno permesso di identificare le caratteristiche meccaniche degli elementi. Nell'impostazione della campagna di indagini, si sono scelti dei punti rappresentativi dello stato complessivo dell'edificio cercando di riflettere al meglio le caratteristiche di variabilità della struttura.

BARRE D'ARMATURA				
Campione	Piano	Diametro [mm]	Tensione snervamento [MPa]	Tensione rottura [MPa]
BP 34 INT	-1	14	351,00	492,43
BT 20-21 INT	-1	20	471,30	580,54
BP 22 PT	T	14	400,20	565,33
BT 59-60 PT	T	18	363,90	526,23
BP 36 1P	1	14	383,20	541,93
BT 48-49 1P	1	20	381,60	508.83

Tabella 12: Estrazione barra d'armatura

Resistenza di calcolo dell'acciaio:

Meccanismi Duttili (Flessione):

$$f_{yd} = \frac{f_{ym}}{FC \times \gamma_m} = \frac{391.87}{1.2 \times 1.0} = 326.55 \text{ N/mm}^2$$

Meccanismi Fragili (Taglio):

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC \times \gamma_m} = \frac{391.87}{1.2 \times 1.15} = 283.96 \text{ N/mm}^2$$

Per maggiori dettagli si rimanda all'**allegato A** che contiene le seguenti tavole dell'appalto "servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65117000050001 CIG –

LOTTO 7: 7882655CAD”: Fase2\_RCM\_01 Relazione sulla caratterizzazione dei materiali; Fase2\_RRI01 Relazione dei risultati delle indagini; Fase2\_RRI02 Ubicazione indagini eseguite al I Impalcato; Fase2\_RRI03 Ubicazione indagini eseguite al II Impalcato; Fase2\_RRI04 Ubicazione indagini eseguite al III Impalcato.

## 5 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

### 5.1 Definizione dell'azione sismica

La valutazione della sicurezza sismica delle strutture nell'appalto di “servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65I17000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD” è stata effettuata mediante il confronto tra la domanda e la capacità sia nei confronti dei meccanismi di piano che per quelli fuori piano. La domanda, ovvero l'azione sismica di progetto per un determinato stato limite, è commisurata all'importanza dell'opera in questione secondo i principi richiamati dal D.M. 17.01.2018 al § 3.2.3. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 del D.M. 17.01.2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4 dello stesso decreto.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*C$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 5.2 Vita nominale

La vita nominale dell'opera VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata in Tabella.

Tipi di costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Per l'edificio in questione, trattandosi di edificio con caratteristiche ordinarie, si è assunto:

$$VN = 50 \text{ anni}$$

### 5.3 Classe d'uso

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

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'edificio in questione, trattandosi di una struttura scolastica si è assunto il coefficiente d' uso Cu:

$$CU = 1,50 \text{ (Classe III)}$$

#### 5.4 Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = 75 \text{ anni}$$

#### 5.5 Parametri di pericolosità sismica

Noto il periodo di riferimento per l'azione sismica su determinato ed nota l'esatta ubicazione dell'edificio rispetto alla griglia di valori prevista dal D.M. 17/01/2018 sono stati definiti i valori dei parametri di pericolosità sismica relativi ai diversi stati limite. Detti valori sono riportati di seguito in figura.



Figura 10: Parametri di pericolosità sismica di base



## 5.6 Stati limite per le verifiche sismiche

Per la verifica di edifici esistenti il D.M. 17.01.2018 prevede che siano eseguite verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

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

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

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella.

Stati limite	P <sub>VR</sub> : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V <sub>R</sub>
SLO (o DO)	81 %
SLD (o DL)	63 %
SLV (o DS)	10 %
SLC (o CO)	5 %

Nella fattispecie, sono state condotte con riferimento prevalentemente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, per quanto concerne gli stati limite ultimi, e allo Stato Limite di Danno, per quanto concerne gli stati limite di esercizio.

## 5.7 Suolo di fondazione

Il terreno è classificabile come suolo di tipo C secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 al paragrafo 3.2.2, infatti trattasi di *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180m/s e 360m/s. Per maggiori chiarimenti si demanda all'allegato C contenente la tavola Fase2\_RGEOL-T\_01-Relazione geologica e geotecnica redatta dai tecnici esterni al Comune nell'ambito dell'appalto “servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65117000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD”.*

## 5.8 Spettro elastico

Noti il tipo di suolo ed i parametri del sito sono definiti tutti gli altri parametri correlati per la determinazione dello spettro elastico come di seguito richiamato.

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad T_B = T_C / 3 \quad T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

Categoria sismica	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \pm 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,80}$
C	$1,00 \pm 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,77}$
D	$0,90 \pm 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,70}$
E	$1,00 \pm 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,80}$

$$ST = 1 \quad S = S_s \times ST$$

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	$C_c$	$S_s$	$S_t$	$S$	$T_b$	$T_c$	$T_d$
SLO	30	0,058	2,346	0,305	1,554	1,500	1,000	1,500	0,158	0,474	2,126
SLD	75	0,073	2,340	0,325	1,521	1,500	1,000	1,500	0,165	0,494	2,283
SLV	712	0,186	2,386	0,345	1,492	1,434	1,000	1,434	0,172	0,515	3,375
SLC	1462	0,234	2,452	0,349	1,486	1,356	1,000	1,356	0,173	0,518	3,895

In figura sono riportati i valori di tutti i parametri per la definizione univoca degli spettri elastici relativi agli stati limite di interesse. Gli spettri così determinati sono riportati nella sottostante figura.

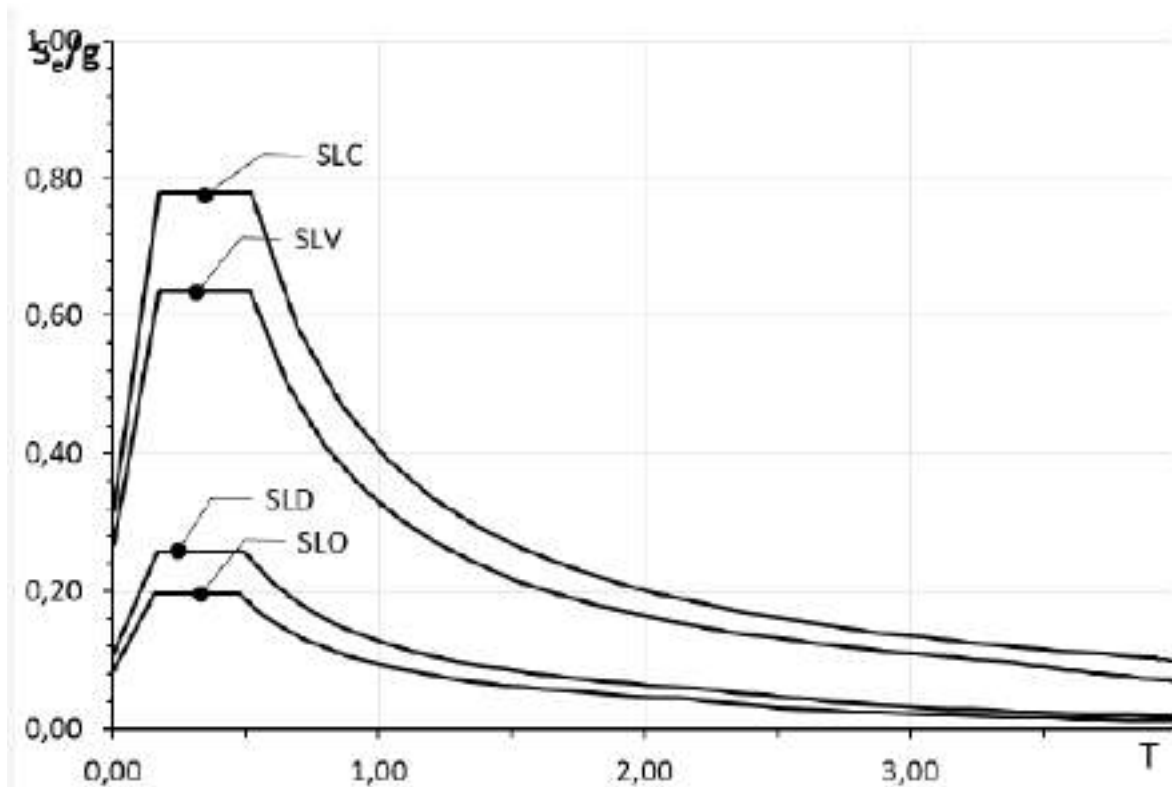


Figura 11: Spettri elastici orizzontali

## 6 MODELLAZIONE E SINTESI DELLE VERIFICHE SISMICHE

### 6.1 Criteri utilizzati per la modellazione dei corpi di fabbrica

Durante la fase di modellazione è necessario trasferire le conoscenze raccolte con le indagini in un modello strutturale il più possibile aderente alla realtà fisica. Questo passaggio risulta uno dei più delicati del percorso che porta alla definizione del rischio sismico in quanto la trasposizione della realtà in un modello comporta sempre delle semplificazioni rispetto alla realtà. L'edificio in oggetto è stato modellato in modo da essere coerente con quanto emerso durante la fase di indagine; le sezioni resistenti sono quelle fornite dal rilievo geometrico, al netto degli intonaci; le proprietà dei materiali sono desumibili dalle ispezioni visive e dalle indagini eseguite in situ, secondo quanto illustrato.

Per quanto concerne i solai esistenti, sono stati modellati infinitamente rigidi.

Si riporta nel seguito il modello creato nel software di calcolo al quali sono stati applicati i carichi definiti nei capitoli precedenti:

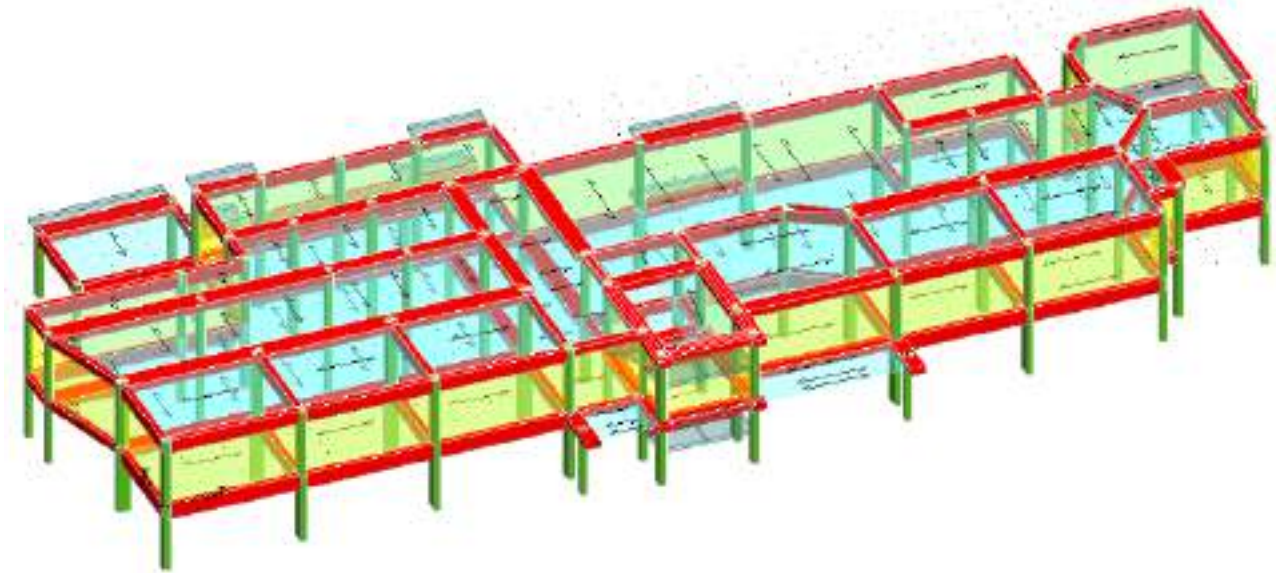


Figura 12: Vista assonometrica del modello strutturale

### 6.2 Vulnerabilità rispetto alle azioni statiche

Sono state effettuate le verifiche in condizioni statiche degli elementi costituenti la struttura portante dell'edificio, ricavando il parametro  $\zeta_{v,i}$  che rappresenta il rapporto tra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile dalla costruzione e il valore del sovraccarico variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione. I risultati di seguito illustrati si riferiscono ad una condizione non degradata delle strutture; devono pertanto essere risanati gli elementi strutturali coinvolti da degrado o interessati da eventuali quadri fessurativi. Dall'analisi per soli carichi verticali del modello strutturale non sono emerse criticità circa l'utilizzo previsto come edificio scolastico. Si riportano di seguito alcuni report grafici in cui si evidenzia la verifica degli elementi in muratura in condizioni statiche.



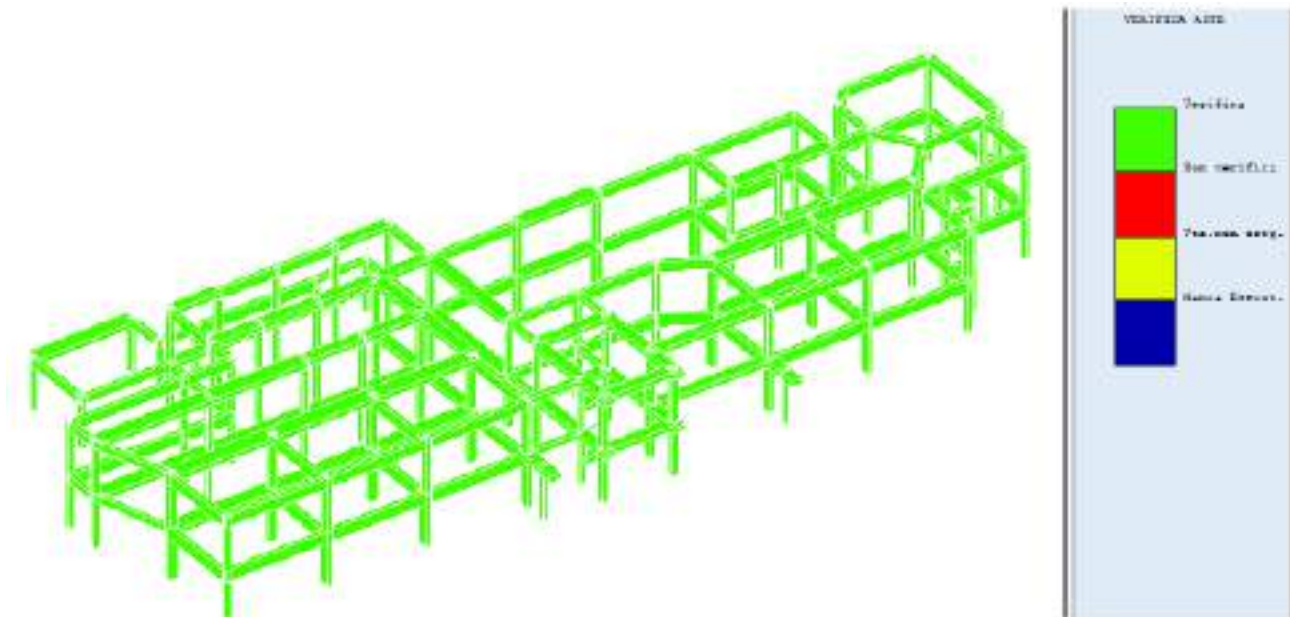


Figura 13: Colormap verifica statica elementi principali in c.a.

L'illustrazione sintetica della mappa di colore estratta dal software di calcolo evidenzia che tutti gli elementi principali dell'edificio in cemento armato, soddisfano le verifiche statiche del fabbricato. Si riportano di seguito i coefficienti  $z_{v,i}$  dei telai in c.a. relativi al collasso a taglio e a flessione.

Rapporto ZetaV minimo per collasso a flessione = 1.0708 per l'asta 28  
 Rapporto ZetaV minimo per collasso a taglio = 2.12 per l'asta 79  
 Rapporto ZetaE da controllare sulle stampe Push-Over

Pertanto i valori minimi del parametro  $z_{v,i}$  dell'edificio sono:

Tipo di elemento	Valori minimi
$\zeta_{v,i}$ c.a. taglio	1,07
$\zeta_{v,i}$ c.a. flessione	2,12

### 6.3 Vulnerabilità sismiche

In particolare, avendo ottenuto un Livello di Conoscenza LC2 per l'edificio in cemento armato oggetto di studio, la normativa vigente ammette l'utilizzo dell'analisi statica non lineare scelta per la verifica di vulnerabilità.

L'analisi non lineare statica richiede che al sistema strutturale reale sia associato un sistema strutturale equivalente non lineare. Nel caso in cui il sistema equivalente sia ad un grado di libertà, a detto sistema strutturale equivalente si applicano i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, in corrispondenza degli orizzontamenti della costruzione, forze orizzontali proporzionali alle forze d'inerzia aventi risultante (taglio alla base)  $F_b$ . Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale  $d_i$  di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della

costruzione (sono esclusi eventuali torrini). Vanno considerati anche punti di controllo alternativi, come le estremità della pianta dell'ultimo livello, quando sia significativo l'accoppiamento di traslazioni e rotazioni. La rottura fragile degli elementi strutturali riguarda sia i nodi trave-pilastro che il collasso per crisi a taglio. Per ambedue le tipologie sono stati registrati indici di vulnerabilità sismica estremamente bassi. Di seguito si esaminano i risultati di quattro push-over in cui si registrano collassi del pannello nodale e a taglio su travi o pilastri. Per ciascuna analisi approfondita si riporta:

- modalità di collasso;
- deformata sismica con indicazione delle cerniere plastiche attivate;
- spettro ADSR (diagramma accelerazione/spostamento del punto di controllo del sistema).

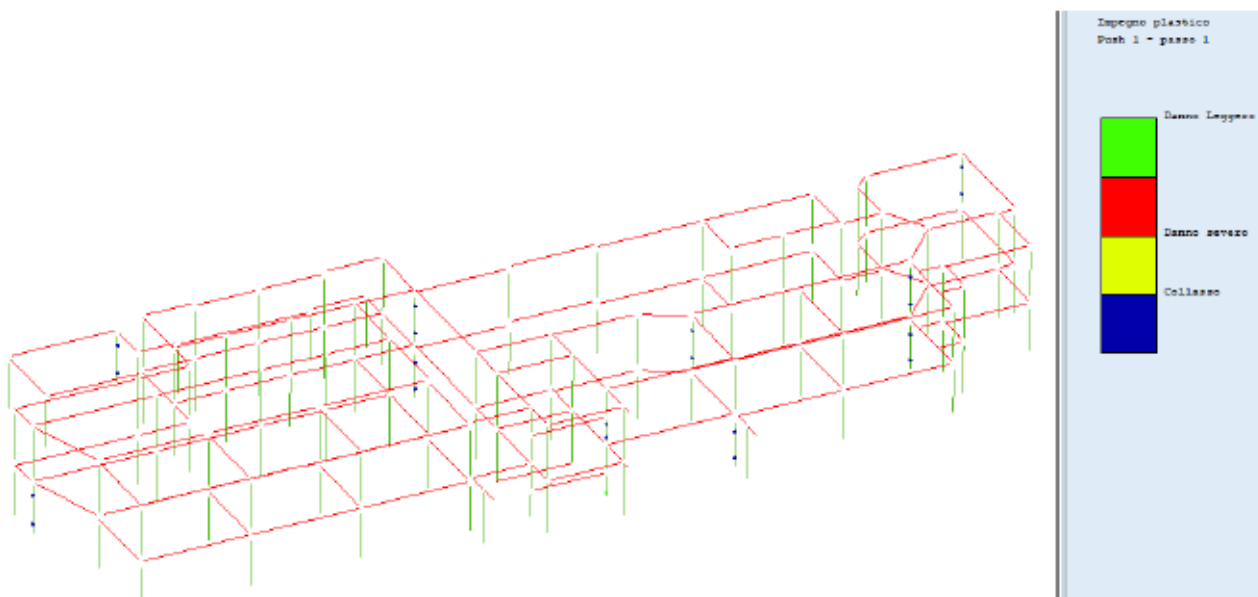


Figura 14: Deformata sismica e cerniere plastiche attivate Modo di collasso Spettro ADSR

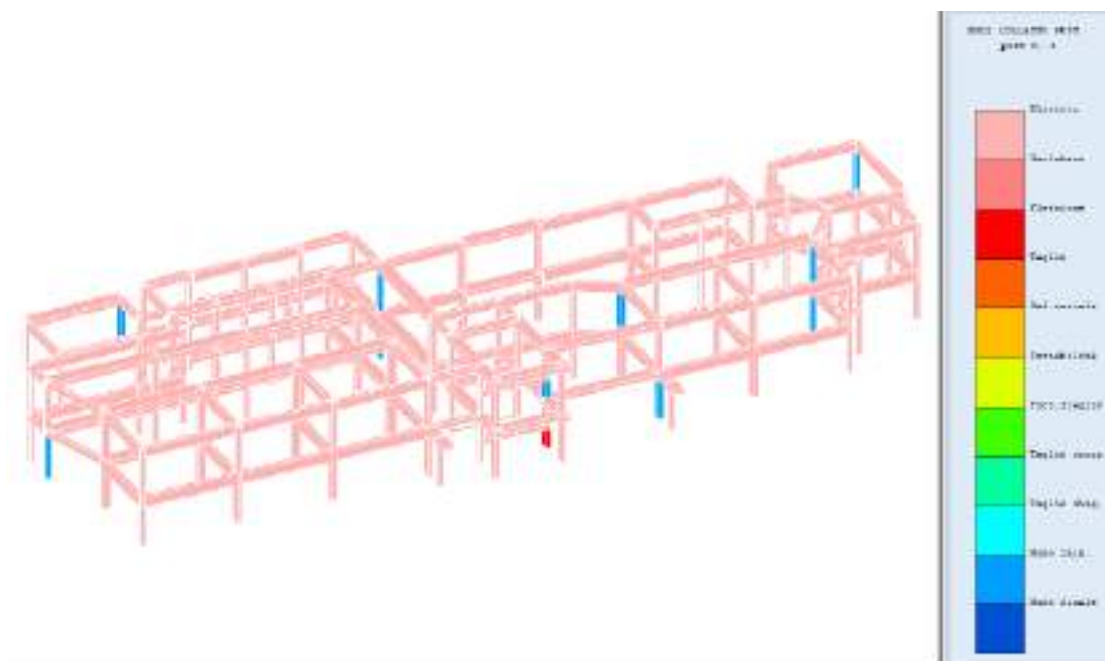


Figura 15: Modo di collasso

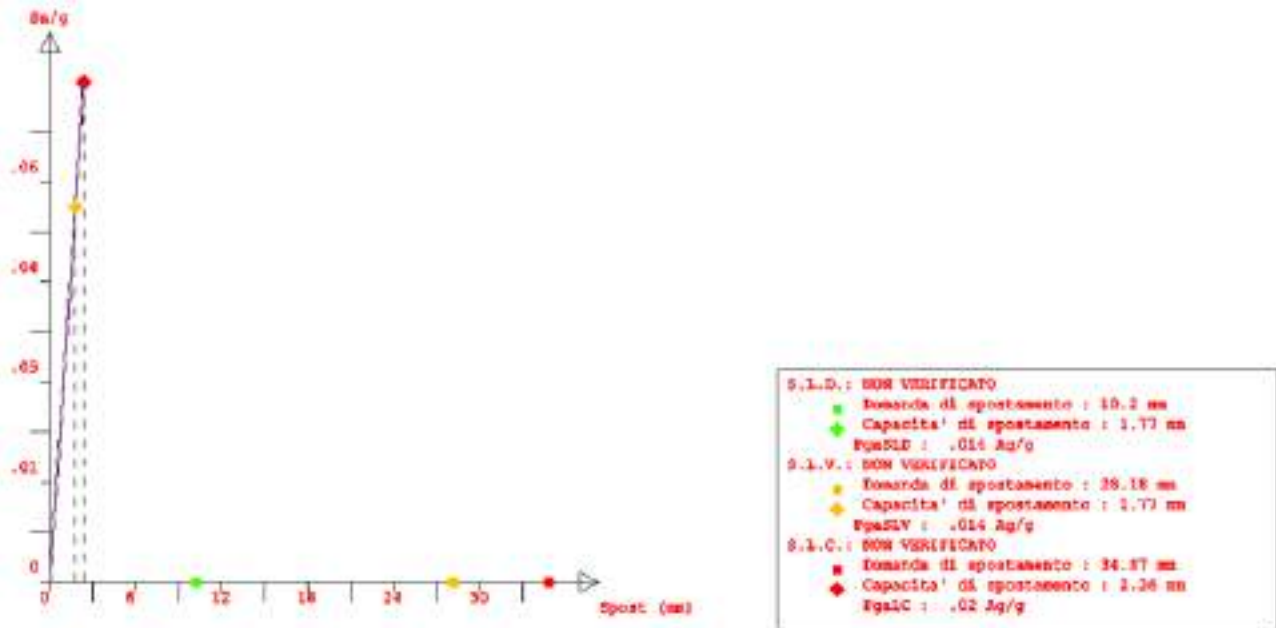


Figura 16: Push n.1 - prop. Modo:(+)Fx (+)0,3Fy (+)Ecc.5%-(Tutti i collapsi)

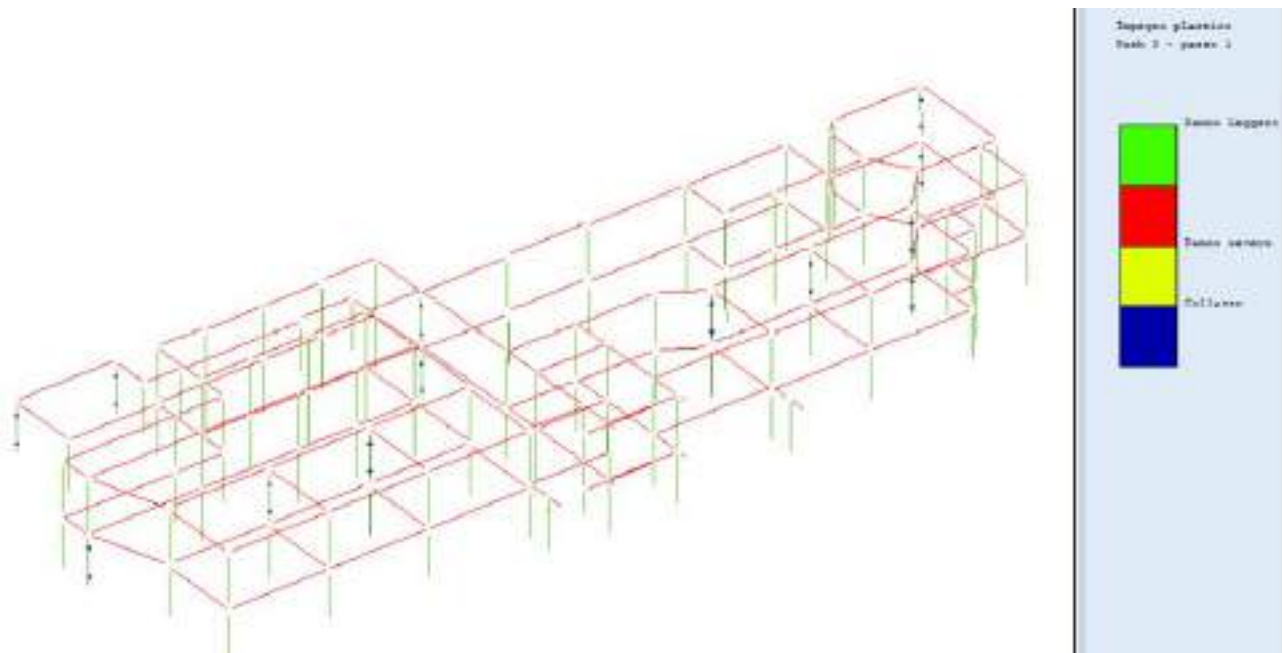


Figura 17: Deformata sismica e cerniere plastiche attivate



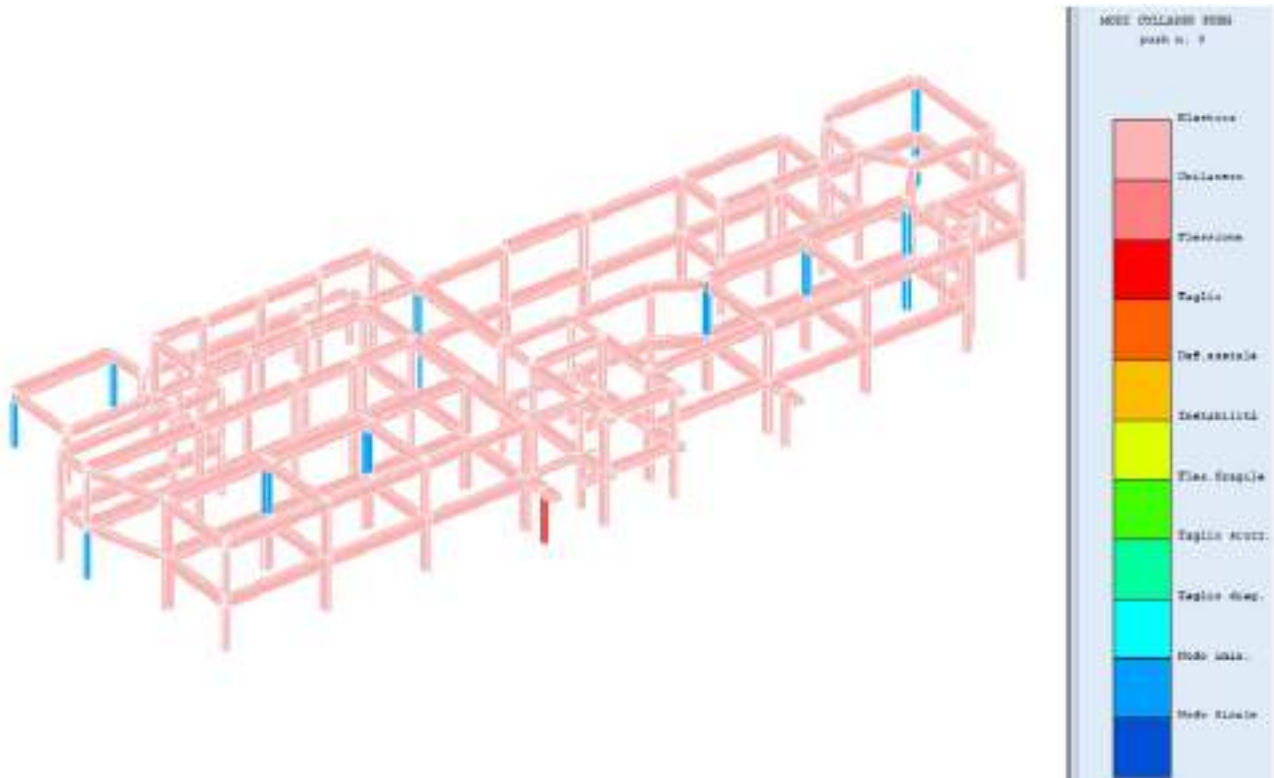
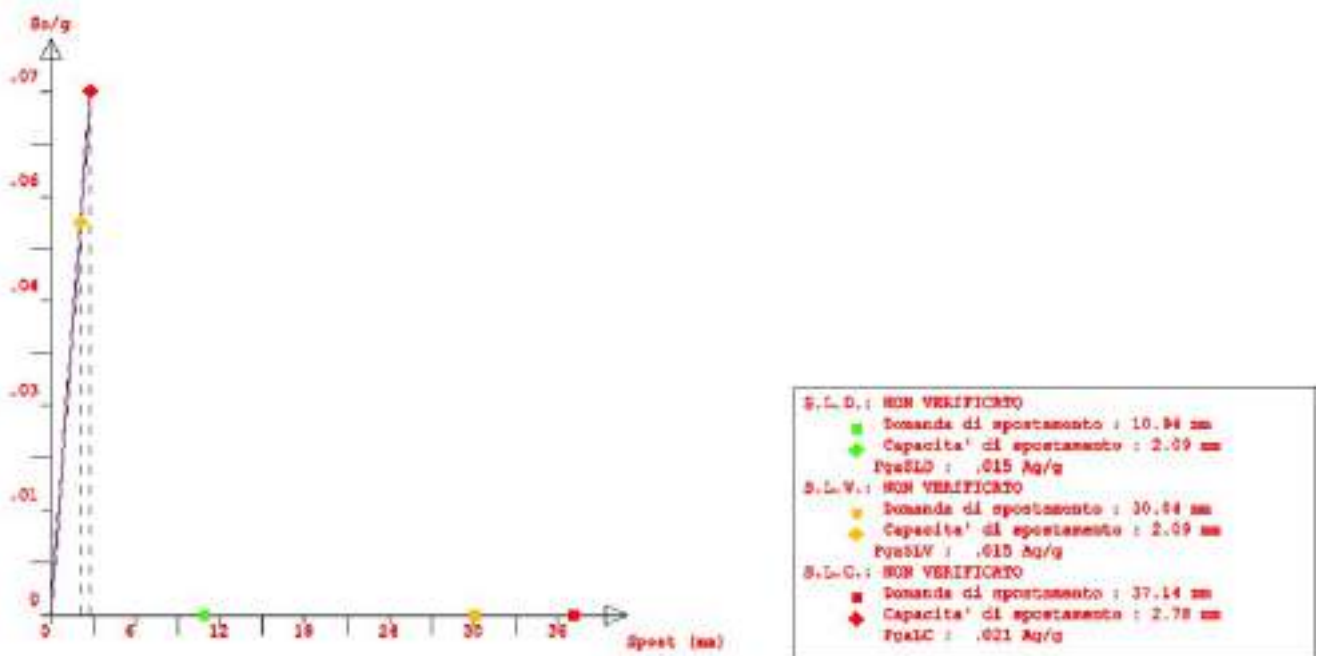


Figura 18: Modo di collasso



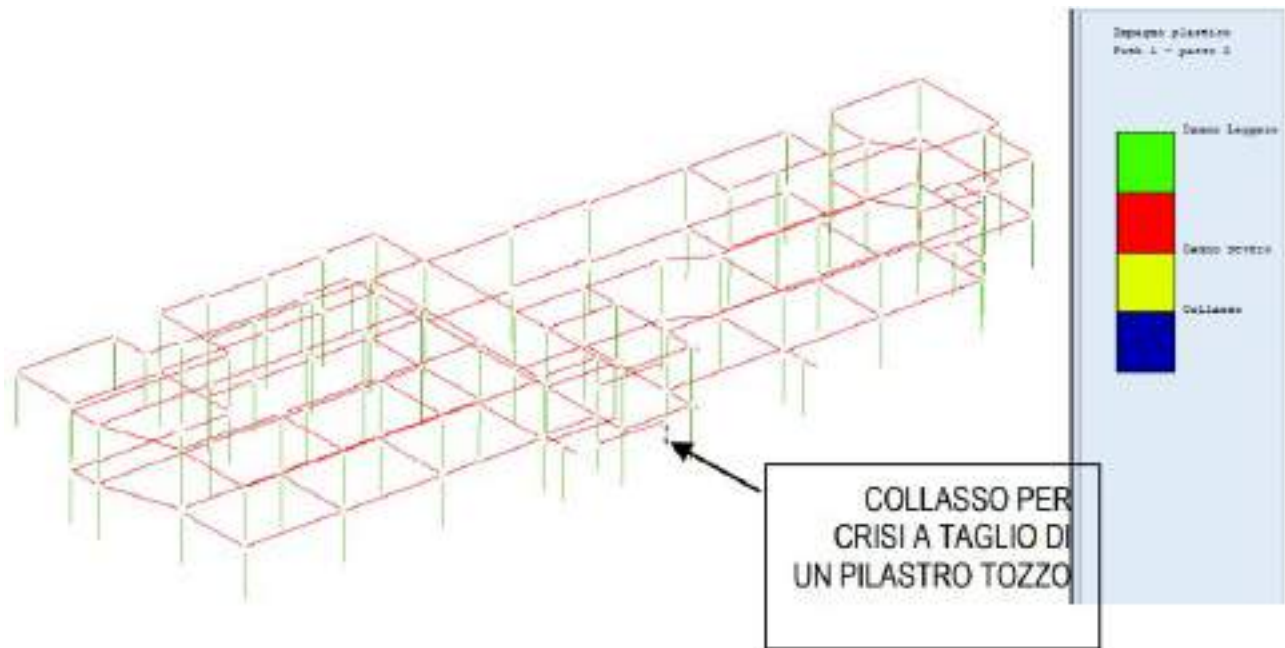


Figura 20: Deformata sismica e cerniere plastiche attivate

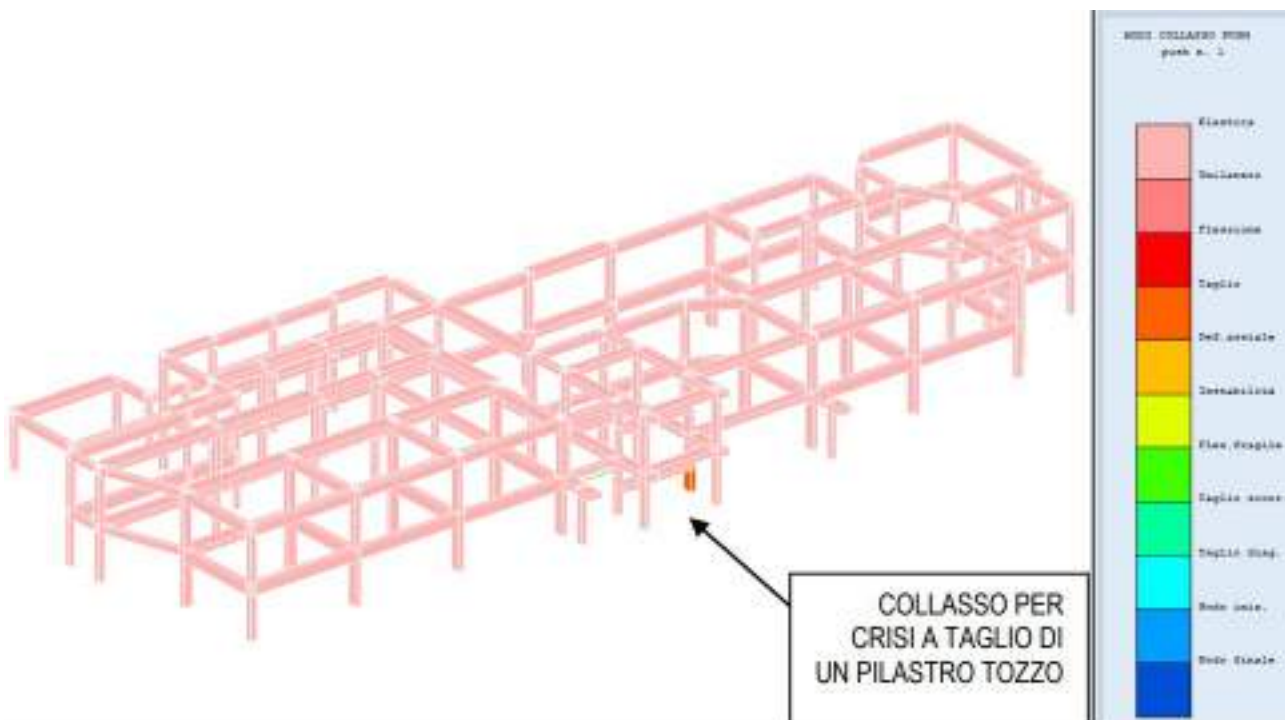


Figura 21: Modo di collasso

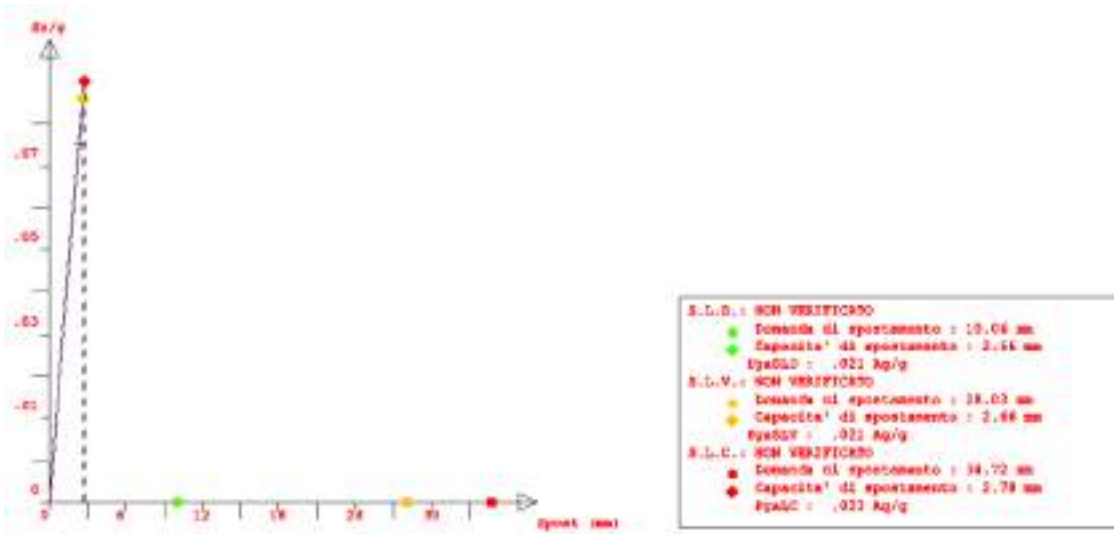


Figura 22: Spettro ADSR –Push n.1- prop. Modo: (+)Fx (+)0,3Fy (+)Ecc.5% - (collapsi a taglio)

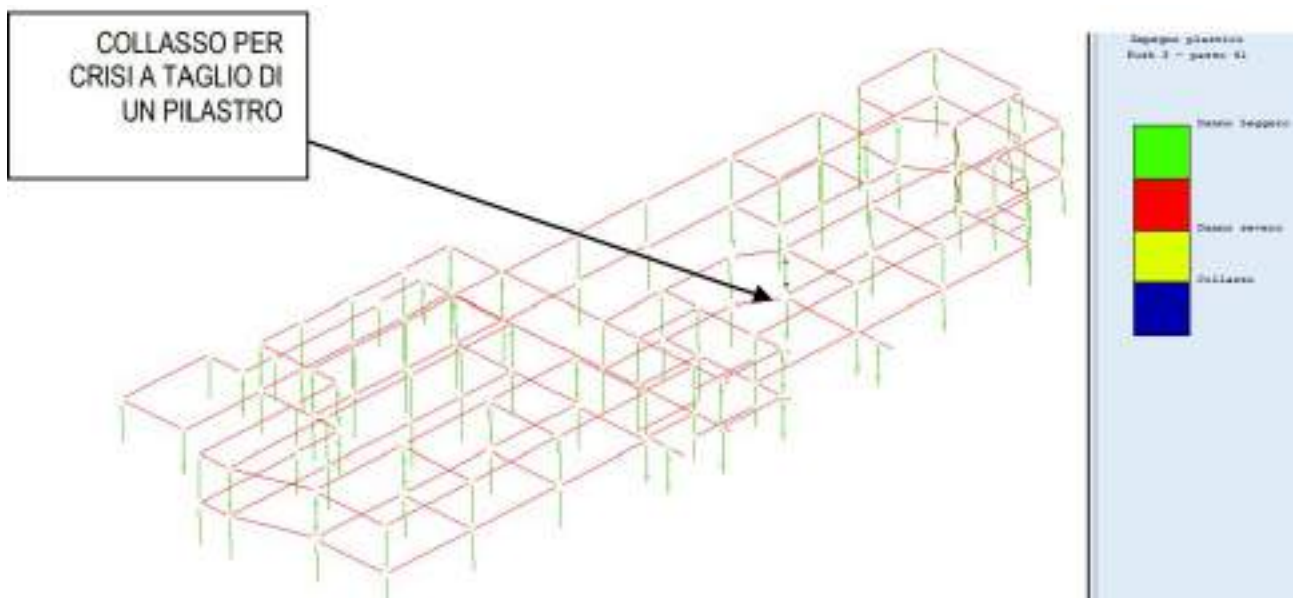


Figura 23: Deformata sismica e cerniere plastiche attivate



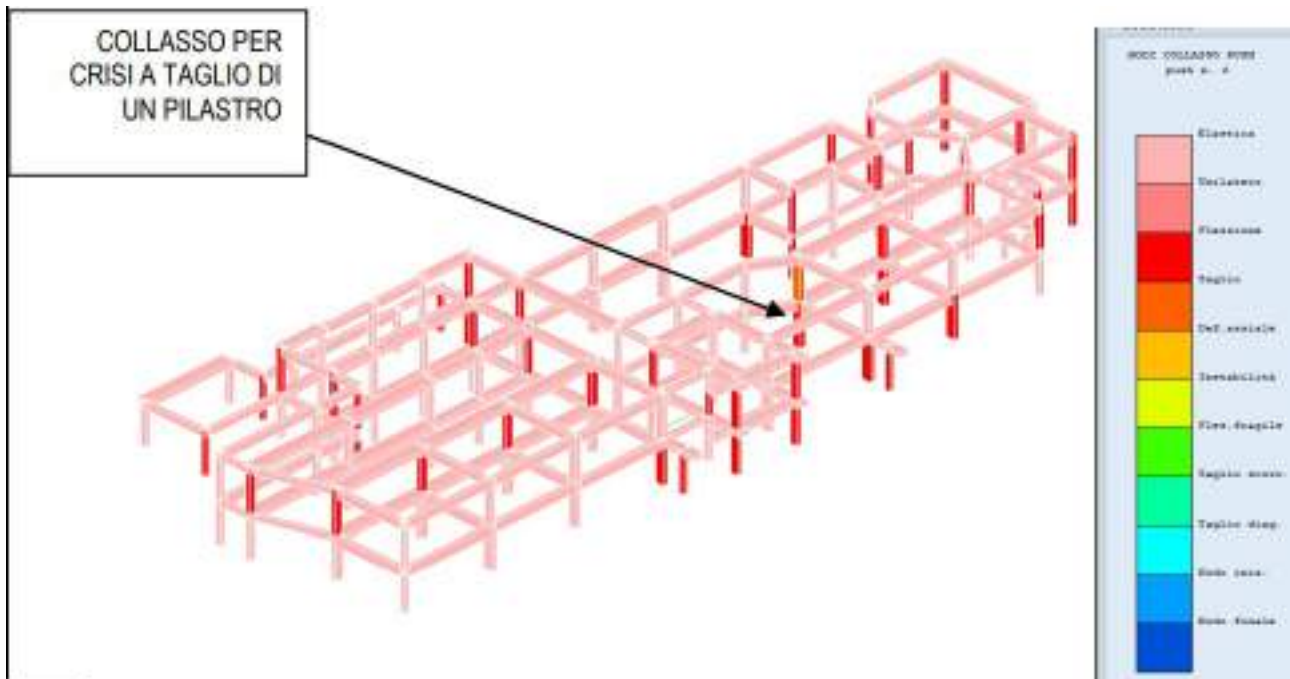


Figura 24: Modo di collasso

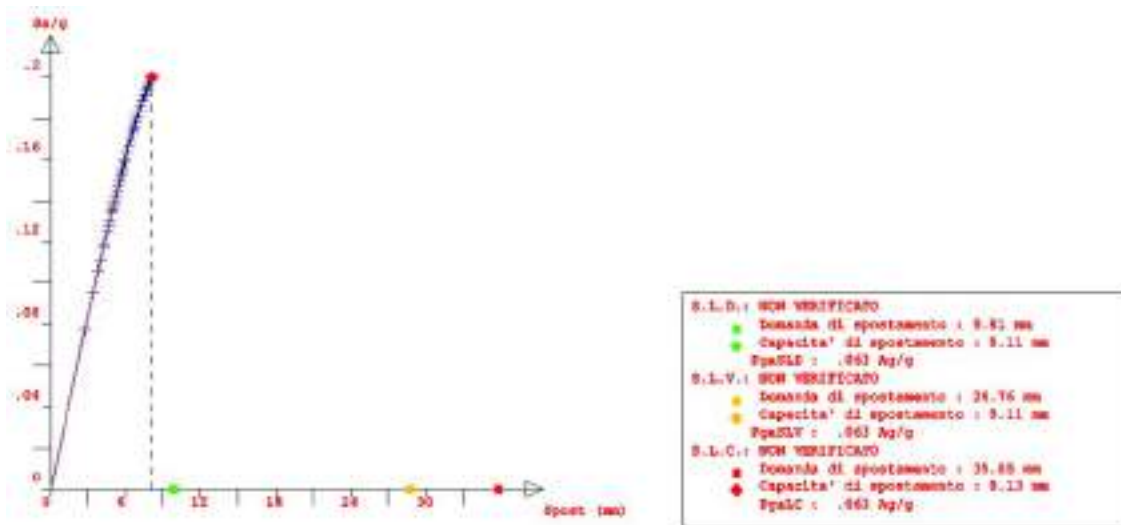


Figura 25: Spettro ADSR–Push n.3- prop. Modo: (+)Fy (+)0,3Fx (+)Ecc.5% - (collassi a taglio)

I risultati ottenuti mostrano come il collasso dovuto ai meccanismi di rottura fragile impedisce di beneficiare delle risorse duttili dell'edificio, essendo stato raggiunto il collasso con la quasi totalità degli elementi strutturali in campo elastico. Si riportano di seguito gli indici di vulnerabilità minimi dovuti ai due meccanismi di collasso fragile.

Tipo di collasso	Valori minimi	PgaC/PgaD	PgaC	$(T_{RCL}/T_{RDL})^2$	$T_{RCL}$	$\xi_E$	
NODO	SLD	63%	0,103	0,008	0,3283	5	<b>0,103</b>
C.A	SLV	10%	0,040	0,008	0,130	5	<b>0,004</b>

Tabella 13: Indici di rischio sismico collasso nodo c.a.

Tipo di collasso	Valori minimi		PgaC/PgaD	PgaC	(TRCL/TRDL) <sup>a</sup>	TRCL	$\xi_E$
TAGLIO	SLD	63%	0,165	0,012	0,398	8	<b>0,165</b>
	SLV	10%	0,058	0,014	0,166	9	<b>0,058</b>

Tabella 14: Indici di rischio sismico collasso taglio c.a.;

**Collassi duttili elementi in c.a** - L'analisi per meccanismi di rottura duttile viene svolta considerando l'assenza nella struttura di rotture fragili. Tale analisi, eseguita sulla struttura oggetto di studio, fa registrare degli indici di vulnerabilità sismica maggiori rispetto a quelli registrati in presenza di rottura per meccanismi fragili. Seppur siano stati esclusi i collassi fragili nello studio in esame, i valori degli indici di rischio raggiunti rimangono comunque modesti rispetto ai limiti di sicurezza sismica imposti dalla normativa. Ciò denota la modesta capacità dissipativa dell'edificio seppur si eseguano interventi di rinforzo mirati ad eliminare i collassi di tipo fragile. Si riportano i risultati esemplificativi di due push-over in cui si registrano gli indici minori della struttura e a seguire gli indici di vulnerabilità sismica rispetto ai meccanismi di collasso duttile.

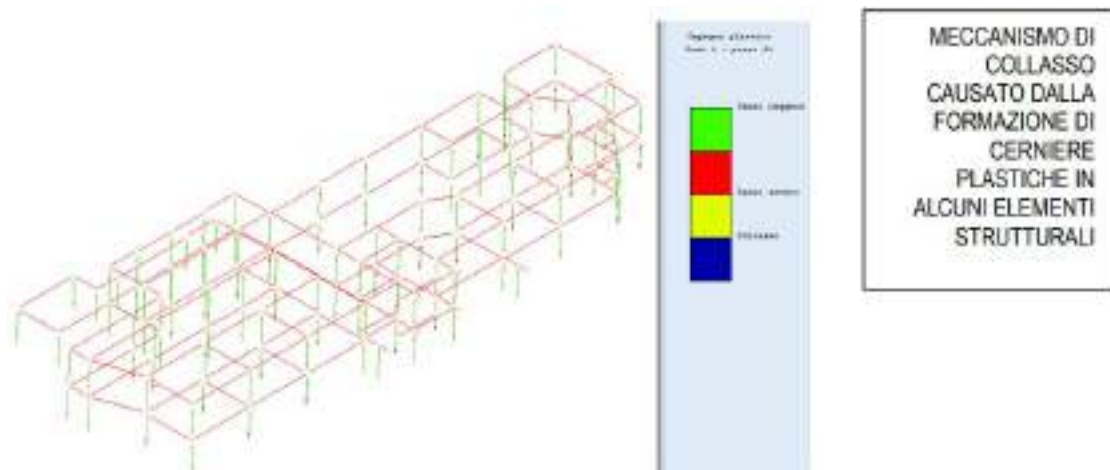


Figura 26: Deformata sismica e cerniere plastiche attivate

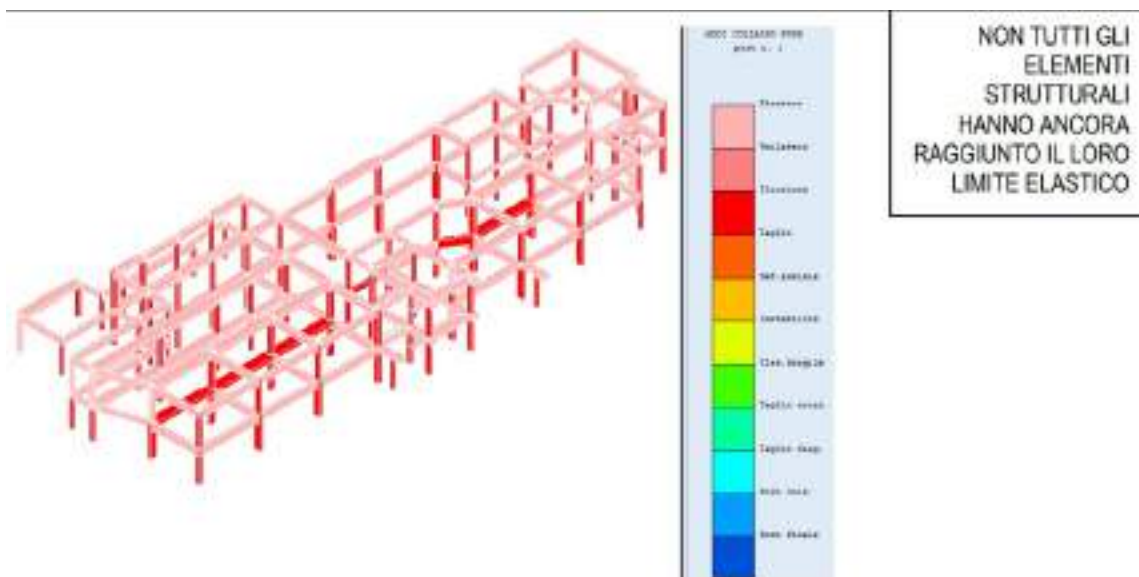


Figura 27: Modo di collasso

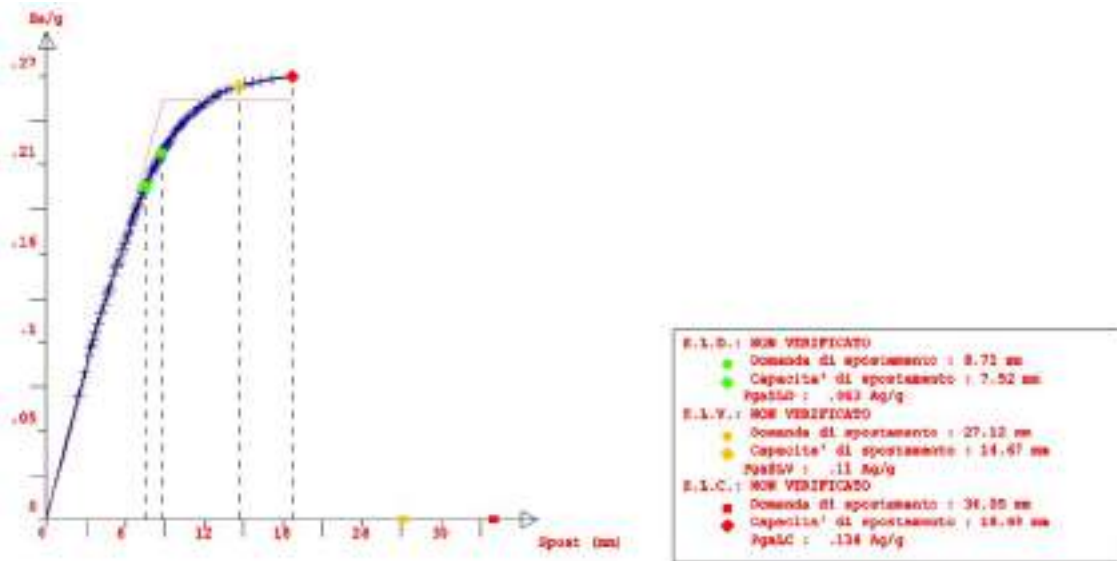


Figura 28: Spettro ADSR – Push n.1- prop. Modo: (+)Fx (+)0,3Fy (+)Ecc.5% - (collassi duttili)

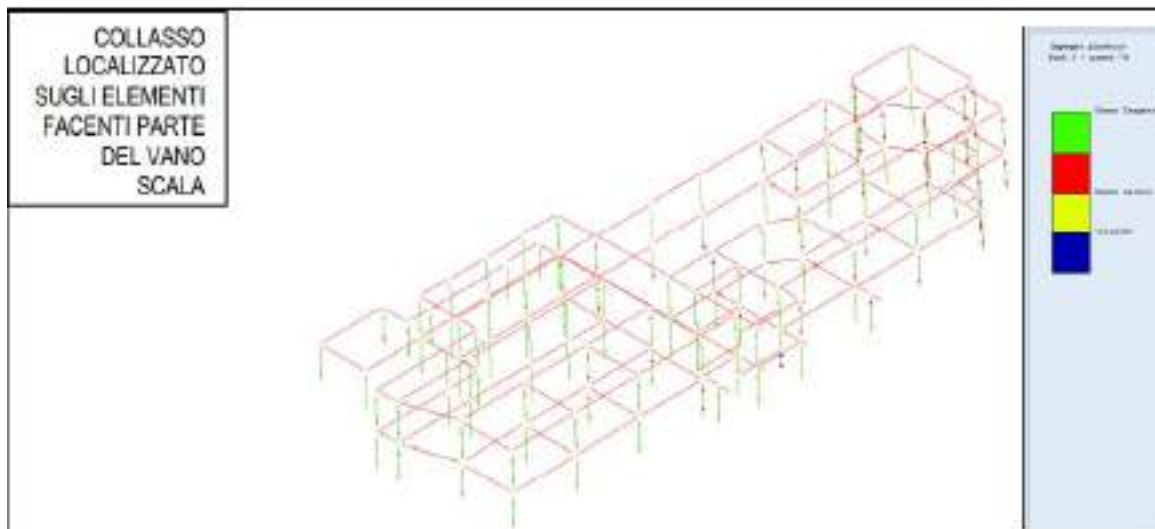


Figura 29: Deformata sismica e curve elastiche attivate



Figura 30: Modo di collasso



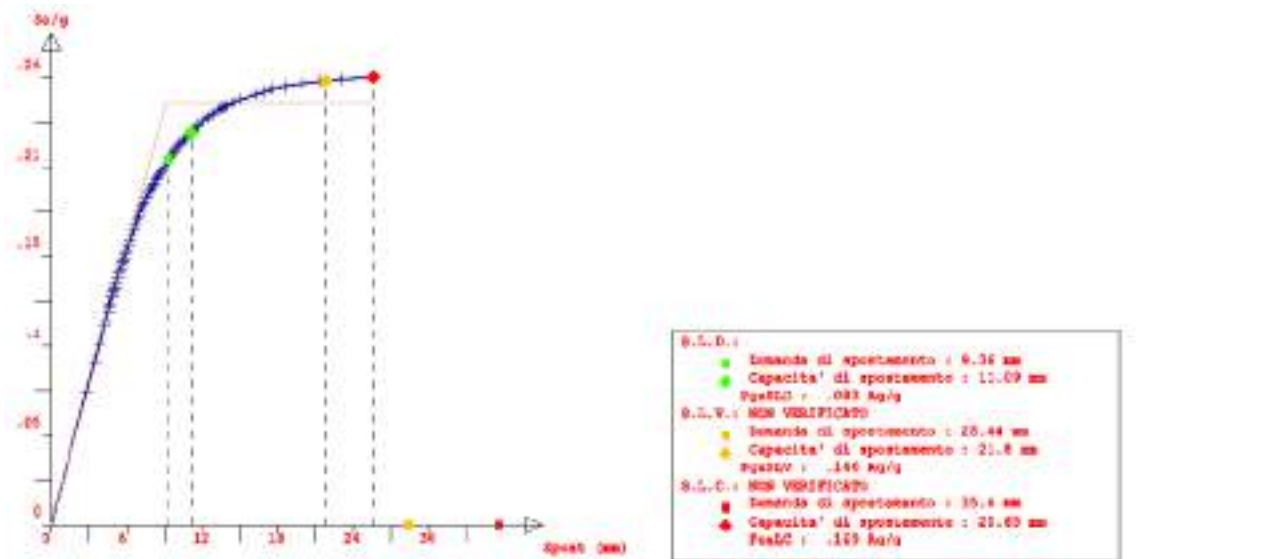


Figura 31: Spettro ADSR-Push n.3-prop. Modo: (+)Fy (+)0,3Fz (+)Ecc.5% - (collapsi duttili)

Tipo di collasso	Valori minimi	PgaC/PgaD	PgaC	(TRCL/TRDL) <sup>a</sup>	TRCL	ξ <sub>B</sub>	
Duttile	SLD	63%	0,747	0,055	0,795	43	<b>0,747</b>
	SLV	10%	0,398	0,074	0,403	78	<b>0,398</b>

Tabella 15: Indici di rischio sismico collasso duttile c.a.

**Verifica elementi secondari delle tamponature** - Le tamponature presenti nell'edificio oggetto di studio sono costituite da blocchi di tufo sul paramento esterno e da blocchi lapillo e presentano una distribuzione regolare lungo l'altezza. Si riporta la tabella riassuntiva, riguardante l'analisi dei carichi di tali elementi secondari.

Descrizione	Dimensioni/Quantità			Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> - kN/m <sup>2</sup> - kN/m - kN)	Carico (kN/m <sup>2</sup> )
	spessore (m)	larghezza (m)	lunghezza (m)		
blocco di tufo sp. 16 cm		1,00	1,00	2,00	2,00
				<b>Peso proprio (g<sub>k,1</sub>)</b>	<b>2,00</b>
Intonaco	0,03	1,00	1,00	18,00	0,54
				<b>Carichi permanenti (g<sub>k,1</sub>)</b>	<b>0,54</b>

La domanda sismica su tali elementi è stata determinando una forza orizzontale Fa definita come segue:

$$F_a = \frac{S_a * W_a}{q_a}$$

Dove:

- Fa è la forza sismica orizzontale distribuita o agente nel centro di massa dell'elemento non strutturale, nella direzione più sfavorevole, risultante dalle forze distribuite proporzionali alla massa;

- $W_a$  è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame;
- $W_a$  è il peso dell'elemento;
- $q_a$  è il fattore di comportamento dell'elemento.

La verifica, come stabilito dalla normativa, viene eseguita rispetto allo Stato limite di Salvaguardia della Vita; si riporta la verifica per il blocco in tufo caratterizzato dalla maggiore massa ed esposto sul fronte esterno. La verifica è condotta in corrispondenza dell'ultimo piano dell'edificio soggetto pertanto alla maggiore sollecitazione sismica.

DATI GEOMETRICI E MECCANICI					
peso unitario	$w_a$	2,54	kN m <sup>-2</sup>	0,003	N mm <sup>-2</sup>
altezza pannello	$h_u$	2,65	m	2650	mm
larghezza pannello	$b_u$	1,00	m	1000	mm
Spessore pannello con intonaco	$t$	0,16	m	160	mm
Modulo elastico	$E$	1500	Nmm <sup>-2</sup>		
Resistenza caratteristica ortogonale	$f_{tk}$	1,00	Nmm <sup>-2</sup>		
Altezza edificio	$H$	6,60	m	6600	mm
Spessore dell'intonaco esistente	$t_{es}$	20,00	mm		
DATI SISMICI					
Accelerazione SLV	$a_g$	0,187	g		
Amplificazione per tipo di suolo	$S_s$	1,348			
Amplificazione per topografia del sito	$S_t$	1,00			
DATI DERIVATI					
Peso pannello	$W_a$	6,73	kN	6731	N
massa unitaria	$W_u$	0,259	kN s <sup>2</sup> m <sup>-3</sup>	259	N s <sup>2</sup> m <sup>-3</sup>
tasso di lavoro (tamp. Scarica)	$\sigma_0$	0,042	Nmm <sup>-2</sup>		
massa pannello	$M$	0,686	kN s <sup>2</sup> m <sup>-1</sup>	686	N s <sup>2</sup> m <sup>-1</sup>
quota pannello	$z_p$	19,37	m	19370	mm
Baricentro pannello	$G$	80	mm		
Inerzia pannello	$I$	341333333,3	mm <sup>4</sup>		
Resistenza di calcolo	$f_{td}$	0,67	Nmm <sup>-2</sup>		
Periodo pannello	$T_u$	0,409	s		
Periodo di vibrazione edificio	$T_t$	0,350	s		
Accelerazione sul pannello	$S_d(T_d)$	2,681	g		
Azione sul pannello	$F_a$	18,05	kN		
Momento sollecitante sul pannello	$M_{ed}$	5,98	kNm		
Momento resistente del pannello non rinforzato	$M_{red}$	0,50	kNm		
Status verifica		NON VERIFICATO			

La verifica non risulta soddisfatta.

**Indici di rischio e sintesi dei risultati** - Dall'analisi per soli carichi verticali del modello strutturale non sono emerse delle criticità circa la destinazione d'uso prevista dell'immobile. Sono stati osservati, altresì, modesti fenomeni di degrado degli elementi strutturali principalmente al piano interrato e nella porzione destinata all'alloggio del custode, legati alla scarsa manutenzione. Per quanto concerne l'analisi relativa alla valutazione del rischio sismico, attraverso la valutazione "step by step" del regime di sforzo e di deformazione sono state determinate le condizioni di raggiungimento di uno specifico stato limite e le

relative accelerazioni sismiche ad esso associate. Come previsto dalla normativa la curva di capacità è stata confrontata con gli spettri di risposta elastica mediante il grafico ADSR al fine di ottenere gli indicatori di rischio relativi agli stati limite considerati. Di seguito sono illustrate le curve di capacità ed i relativi meccanismi di collasso associati alle diverse analisi svolte mediante il software CDS (release 2021) distribuito dalla STS s.r.l. via Tre Torri – Sant’Agata Li Battiati (CT). I risultati integrali della analisi statiche non lineari sono riportate nei fascicoli di calcolo allegati. I risultati pervenuti dall’analisi del modello globale confermano le limitate risorse sismiche della struttura sia nei confronti dei meccanismi fragili che duttili; in particolare si registrano indici di sicurezza pari al 4% allo SLV nei confronti di meccanismi fragili con collasso dei nodi trave–pilastro e indici di sicurezza pari all’6% allo SLV per crisi a taglio di travi o pilastri. Anche in condizione duttile, gli indici di vulnerabilità non raggiungono valori elevati con valori minimi pari al 39% allo SLV. Indici di sicurezza poco maggiori si ottengono allo stato limite di esercizio. La ridotta resistenza strutturale è imputabile al contributo di diverse concause che trovano comunque origine comune nella mancata progettazione sismo-resistente della struttura. L’edificio infatti è stato progettato senza quei dettagli costruttivi che rendono le strutture resistenti nei confronti dei meccanismi fragili ed idonei ad assorbire le azioni sismiche previste dalla vigente normativa (ridotta armatura a taglio nei pilastri, assenza di staffatura nei nodi, modesta armatura a flessione, gerarchia delle resistenze non rispetta, sezioni geometriche insufficienti, etc...). E’ stata condotta anche la verifica a ribaltamento degli elementi secondari di tamponatura, la stessa ha riportato esisto negativo. Per quanto riguarda i risultati integrali delle analisi statiche non lineari, sono riportate nei fascicoli di calcolo; per semplicità di lettura e per consentire un’immediata valutazione della sicurezza sismica dell’edificio analizzato, sono stati riepilogati i risultati delle analisi in termini di indici di sicurezza e riportati nelle successive tabelle. In particolare vengono indicati i rapporti più piccoli tra domanda e capacità in termini di PGA per i vari stati limite di tutte le analisi pushover condotte (Sisma  $\pm X$ , Sisma  $\pm Y$  con forze proporzionali al 1° modo e alle masse, eccentricità del 5% e accoppiamento del sisma in entrambe le direzioni). Si riassume di seguito anche gli indicatori di rischio in merito all’idoneità statica del fabbricato oggetto di studio.

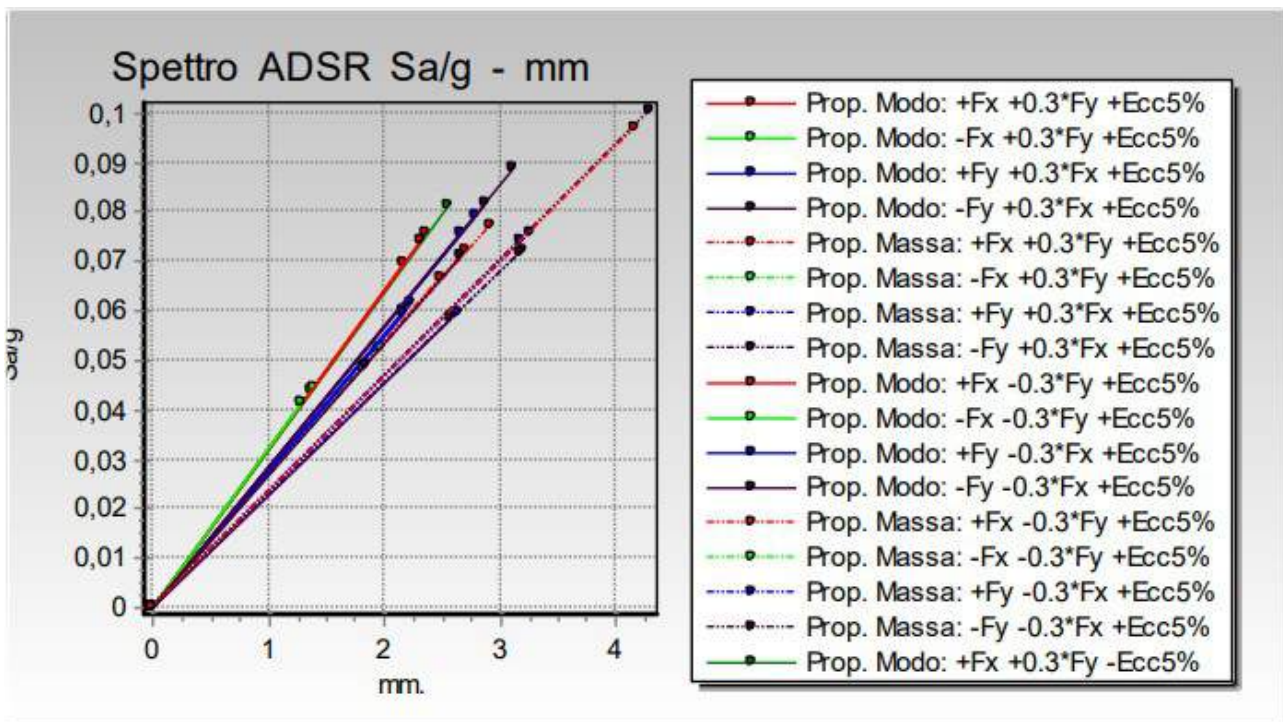


Figura 32: Curve push-over meccanismi di collasso fragile dei nodi



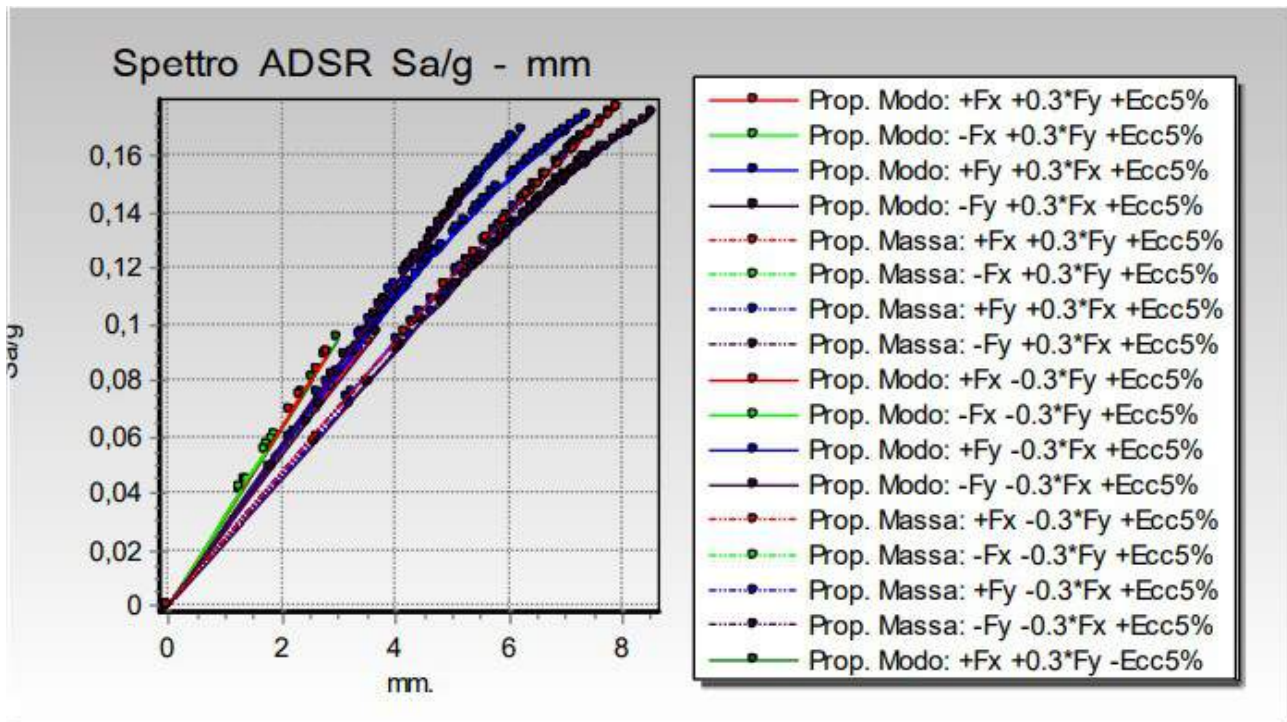


Figura 33: Curve push-over meccanismi di collasso fragile a taglio

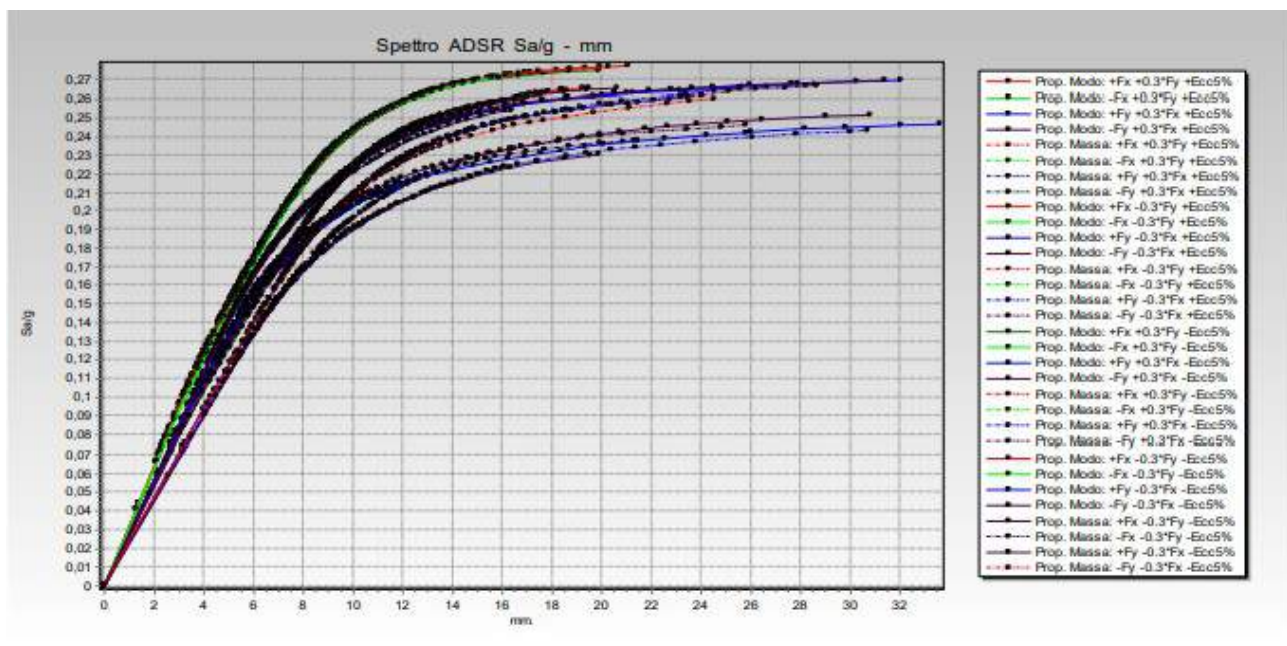


Figura 34: Curve push-over meccanismi di collasso duttile

In sintesi i valori minimi del parametro  $\zeta_{v,i}$  (indice di sicurezza statico) sono:

Tipo di elemento	Valori minimi
$\zeta_{v,i}$ c.a. taglio	1,07
$\zeta_{v,i}$ c.a. flessione	2,12

Tabella 16:

Indici di rischio statico

I valori minimi del parametro  $\zeta_E$ , (indice di sicurezza sismico) distinti per ogni tipologia di collasso, sono:

Tipo di collasso	Valori minimi		PgaC/PgaD	PgaC	$(T_{RCL}/T_{RDL})^a$	$T_{RCL}$	$\zeta_E$
NODO C.A	SLD	63%	0,103	0,008	0,3283	5	<b>0,103</b>
	SLV	10%	0,040	0,008	0,130	5	<b>0,040</b>

Tabella 17: Indici di rischio sismico collasso nodo c.a.

Tipo di collasso	Valori minimi		PgaC/PgaD	PgaC	$(T_{RCL}/T_{RDL})^a$	$T_{RCL}$	$\zeta_E$
TAGLIO	SLD	63%	0,165	0,012	0,398	8	<b>0,165</b>
	SLV	10%	0,058	0,014	0,166	9	<b>0,058</b>

Tabella 18: – Indici di rischio sismico collasso taglio c.a.

Tipo di collasso	Valori minimi		PgaC/PgaD	PgaC	$(T_{RCL}/T_{RDL})^a$	$T_{RCL}$	$\zeta_E$
Duttile	SLD	63%	0,747	0,055	0,795	43	<b>0,747</b>
	SLV	10%	0,398	0,074	0,403	78	<b>0,398</b>

Tabella 19: Indici di rischio sismico collasso duttile c.a.

In merito agli elementi secondari di tamponatura, la verifica a ribaltamento non è soddisfatta.

## 7 INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO E INDICI DI RISCHIO POST INTERVENTO NEL CASO DI CONSERVAZIONE DEL VECCHIO FABBRICATO

I rilievi eseguiti e i risultati delle analisi statiche e sismiche effettuate segnalano la necessità di pianificare degli interventi atti a migliorare il comportamento complessivo della struttura. In particolare devono essere previsti degli interventi per ripristinare l'integrità degli elementi degradati soggetti all'espulsione dello strato corticale di calcestruzzo e ossidazione delle armature. Il risanamento coinvolge un modesto numero di elementi strutturali ubicati principalmente al piano interrato e al piano terra in corrispondenza dell'alloggio del custode. Dal punto di vista sismico, i risultati forniti dalle analisi mostrano le limitate risorse della struttura sia nei confronti dei meccanismi di collasso fragili, che avvengono per indici particolarmente esigui (circa il 5% allo SLU), sia nei confronti dei meccanismi di collasso duttili, dove è stato ottenuto un valore maggiore rispetto ai collassi fragili (circa il 30% allo SLU), seppur assai inferiore rispetto ai valori minimi fissati dalla normativa per una nuova costruzione. E' bene specificare che, dall'analisi del comportamento sismico del fabbricato, l'elevata vulnerabilità è causata non solo dalle modeste sezioni degli elementi strutturali e dalla insufficiente armatura, ma anche da un comportamento irregolare del manufatto con eccessivi moti torsionali e sollecitazioni concentrate negli elementi strutturali tozzi del corpo scala principale. Un'ipotesi di miglioramento sismico del fabbricato è stata condotta prevedendo dei rinforzi dei pilastri per incrementarne la resistenza flessionale e a taglio ed evitarne collassi prematuri. L'incremento di resistenza richiesto nei pilastri è elevato con la necessità di dover intervenire mediante ringrossi in c.a. e l'inserimento di nuova armatura. In seguito al ringrosso dei pilastri, il livello di sicurezza sismica del fabbricato raggiunge circa il 50% allo SLV con l'attivazione di collassi a taglio nelle travi tozze del

fabbricato; un ulteriore incremento della sicurezza sismica del fabbricato, sino al raggiungimento dell'adeguamento sismico, richiederebbe quindi il rinforzo di numerose travi del fabbricato mediante l'inserimento di calastrellature metalliche o FRP.

Per l'adeguamento sismico del fabbricato è altresì necessario prevedere un sistema antiribaltamento per le pareti di tamponamento esterne mediante un intervento con fibre disposte su maglia rettangolare. In alternativa agli interventi citati che coinvolgono l'intero fabbricato e che impegnano certamente elevate risorse economiche, si dovrebbe perseguire la demolizione e ricostruzione del fabbricato. Per l'adeguamento sismico del fabbricato è altresì necessario prevedere un sistema antiribaltamento per le pareti di tamponamento esterne mediante un intervento con fibre disposte su maglia rettangolare. In alternativa agli interventi citati che coinvolgono l'intero fabbricato e che impegnano certamente elevate risorse economiche, si dovrebbe perseguire la demolizione e ricostruzione del fabbricato.

**Ipotesi di intervento sull'edificio esistente** - Per il ripristinare l'integrità delle strutture originarie, a seguito di alcuni degradi dovuti alla carente manutenzione, devono essere eseguiti degli interventi di risanamento in modeste porzioni degli impalcati e in alcune porzioni di travi e pilastri al piano interrato. L'intervento di adeguamento sismico, ha l'obiettivo di raggiungere i livelli di sicurezza richiesti per gli edifici di nuova costruzione così specificati nel paragrafo 8.4.3 delle NTC. Per questa categoria di interventi la valutazione della sicurezza è obbligatoria e finalizzata a stabilire se la struttura, a seguito dell'intervento, è in grado di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto con il grado di sicurezza richiesto dalle NTC. Negli interventi di adeguamento delle costruzioni nei confronti delle azioni sismiche è richiesto, generalmente, il raggiungimento del valore del parametro  $\zeta_E$  non inferiore a 0.80 qualora non si alteri l'organismo strutturale originario mediante sopraelevazioni, incremento di carichi o inserimento di nuovi elementi strutturali che modificano la costruzione originaria. In particolare le NTC 2018 al paragrafo 8.4.3 specificano quanto segue. L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda: a) sopraelevare la costruzione; b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta; c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.5.2 del § 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione; d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani. e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV. In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo. Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere  $\zeta_E \geq 1,0$ . Nei casi c) ed e) si può assumere  $\zeta_E \geq 0,80$ . E' assimilabile in tale situazione ( $\zeta_E \geq 0,80$ ) anche l'adeguamento sismico deciso dal proprietario a seguito di inadeguatezza riscontrata attraverso la valutazione di sicurezza di cui al par. 8.3 delle NCT.

L'ipotesi di intervento per l'adeguamento sismico del fabbricato oggetto di studio, pertanto può raggiungere un coefficiente  $\zeta_E \geq 0,80$ . Un'ipotesi di miglioramento sismico del fabbricato è stata condotta rinforzando tutti i pilastri del fabbricato. La tipologia di rinforzo adottato è il ringrosso della sezione esistente con l'aggiunta di nuova armatura longitudinale e trasversale. In seguito a tale intervento, il livello di sicurezza sismica del fabbricato raggiunge circa il 50% allo SLV con l'attivazione di collassi a taglio nelle travi tozze del fabbricato; per il raggiungimento dell'adeguamento sismico è necessario eseguire il rinforzo anche di numerose travi del fabbricato mediante l'inserimento di calastrellature metalliche o FRP. Nelle immagini



seguenti sono evidenziati in giallo tutti gli elementi oggetto di rinforzo, distinti per il piano terra e il primo piano.

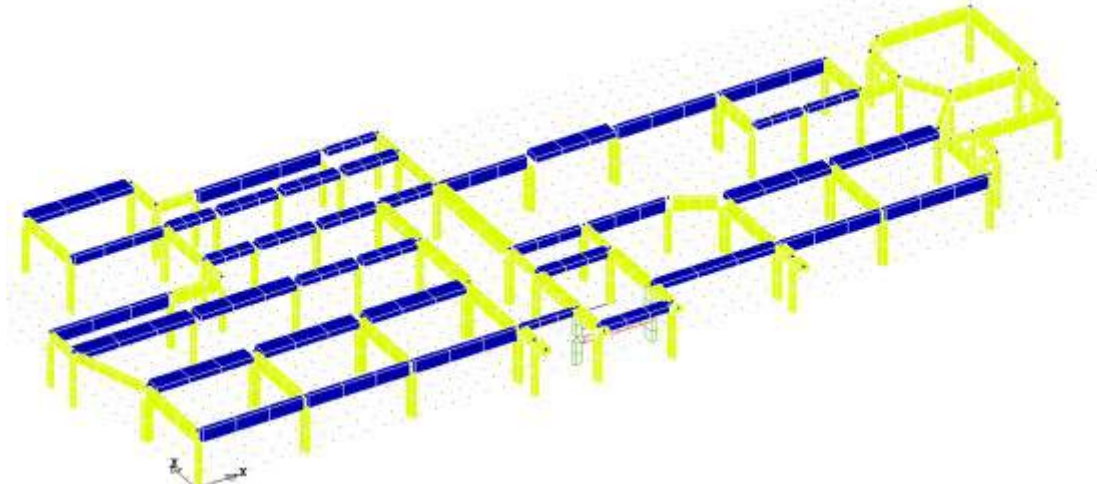


Figura 35: – Elementi strutturali oggetto di rinforzo al piano terra (in giallo)

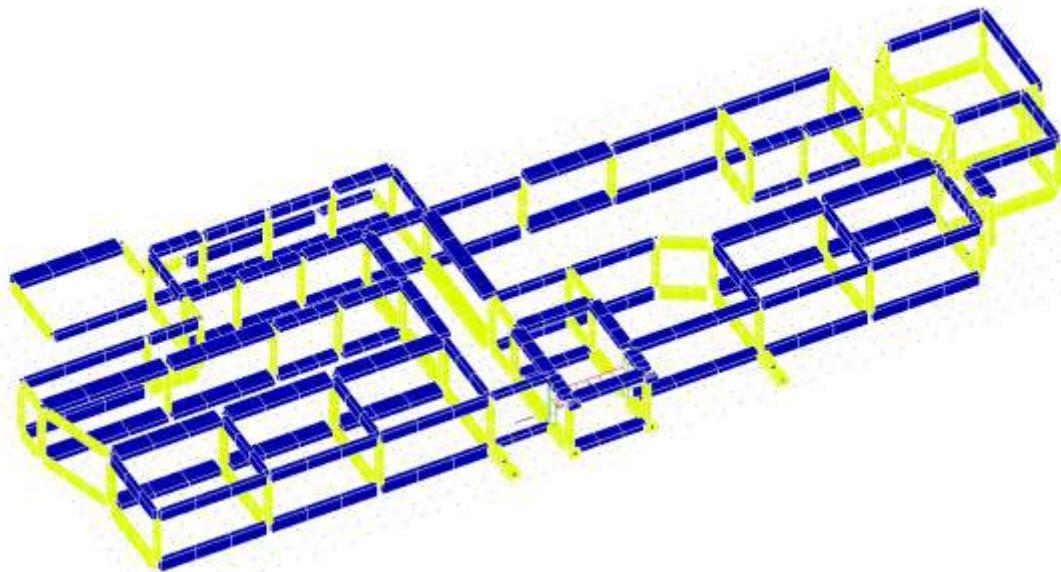


Figura 36: Elementi strutturali oggetto di rinforzo al piano primo (in giallo)

Per l'adeguamento sismico del fabbricato è altresì necessario includere un sistema antiribaltamento per le pareti di tamponamento esterne mediante intonaco armato con rete in fibre e connettori trasversali. Le risorse economiche necessarie per l'adeguamento sismico del fabbricato esistente sono certamente considerevoli in quanto gli interventi citati coinvolgono l'intero fabbricato come indicato nei successivi paragrafi. E' opportuno precisare che il miglioramento o adeguamento strutturale del fabbricato comporta un'elevata incidenza di opere edili che incrementano considerevolmente il costo complessivo degli interventi da eseguirsi. Durante l'esecuzione degli interventi sarà inoltre necessario sospendere l'uso del fabbricato ed eseguire il dislocamento temporaneo di tutti gli arredi. Pertanto, a parere dello scrivente, da un'analisi costi benefici, l'intervento da prediligere per garantire un'adeguata sicurezza statica e sismica del fabbricato consiste nella demolizione e successiva ricostruzione; si precisa che un nuovo edificio realizzato interamente

con tutti i dettami delle vigenti normative, assicura una qualità dell'opera sensibilmente maggiore, intendendo per qualità dell'opera, la sua capacità di mantenere le proprie caratteristiche nel tempo. In merito alla qualità del prodotto edilizio finale, è opportuno chiarire che, nonostante i diffusi interventi sul fabbricato esistente, il complesso edilizio ristrutturato sarebbe comunque soggetto ad una manutenzione ordinaria elevata rispetto ad una nuova costruzione in ragione dell'età del fabbricato esistente. Inoltre, da un punto di vista complessivo dell'edilizia, l'intervento di demolizione e ricostruzione determina un ulteriore benefit dell'edificio prevedendo la realizzazione di nuove finiture (pavimenti, intonaci, etc.), degli impianti (elettrico, riscaldamento, idrico, tecnologici, etc.) e più in generale del rendimento energetico ed acustico del fabbricato (nuova coibentazione esterna, nuovi infissi, materiali di maggiore performance rispetto agli esistenti, etc.). L'intervento di nuova costruzione prevede delle caratteristiche dell'involucro disperdente in linea con gli attuali stringenti standard di contenimento dei consumi energetici, ottenendo quindi un basso carico di progetto anche per la climatizzazione, sia per la diminuzione delle dispersioni termiche dovuta alla coibentazione, sia per l'intero pacchetto delle nuove murature e dei nuovi infissi esterni. Pertanto nell'ipotesi di demolizione e ricostruzione vi sarà una notevole economia di gestione garantita dal risparmio energetico, dalla modesta manutenibilità e dalla elevata durevolezza.

## **8 SOLUZIONE PROGETTUALE DI ABBATTIMENTO E RICOSTRUZIONE DELLA STRUTTURA**

Considerato gli esiti delle indagini di vulnerabilità eseguite dai tecnici esterni al Comune nell'ambito dell'appalto "*servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65H17000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD*", delle caratteristiche del calcestruzzo e dell'acciaio rilevati in fase di indagine, delle ipotesi di consolidamento proposti dai suddetti tecnici e dei relativi costi e delle dimensioni esigue della struttura si è deciso di procedere all'abbattimento e alla ricostruzione del fabbricato nel rispetto delle normative vigenti e quindi nell'ambito strutturale delle seguenti norme:

- Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. Infrastrutture 17 Gennaio 2018.
- Circolari, Linee Guida e Istruzioni
- Circolare Ministeriale 21 Gennaio 2019, n° 7 / C.S.LL.PP.

Pertanto la progettazione verrà eseguita mediante il confronto tra la domanda e la capacità sia nei confronti dei meccanismi di piano che per quelli fuori piano. La domanda, ovvero l'azione sismica di progetto per un determinato stato limite, è commisurata all'importanza dell'opera in questione secondo i principi richiamati dal D.M. 17.01.2018 al § 3.2.3. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 del D.M. 17.01.2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4 dello stesso decreto.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- F0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T\*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 8.1 Vita nominale

La vita nominale dell'opera VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata in Tabella.

Tipi di costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisoria – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Per l'edificio in questione, trattandosi di edificio con caratteristiche ordinarie, si è assunto:

$$VN = 50 \text{ anni}$$

### 8.2 Classe d'uso

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

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'edificio in questione, trattandosi di una struttura scolastica si è assunto il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$C_u = 1,50 \text{ (Classe III)}$$

### 8.3 Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$VR = 75 \text{ anni}$$



## 8.4 Parametri di pericolosità sismica

Noto il periodo di riferimento per l'azione sismica su determinato ed nota l'esatta ubicazione dell'edificio rispetto alla griglia di valori prevista dal D.M. 17/01/2018 sono stati definiti i valori dei parametri di pericolosità sismica relativi ai diversi stati limite. Detti valori sono riportati di seguito in figura.



Figura 37: Parametri di pericolosità sismica di base

## 8.5 Stati limite per le verifiche sismiche

Per la verifica di edifici esistenti il D.M. 17.01.2018 prevede che siano eseguite verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali;
- **Stato Limite di salvaguardia della vita umana (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella.

Stati limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
SLO (o DO)	81 %
SLD (o DL)	63 %
SLV (o DS)	10 %
SLC (o CO)	5 %

Nella fattispecie, sono state condotte con riferimento prevalentemente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, per quanto concerne gli stati limite ultimi, e allo Stato Limite di Danno, per quanto concerne gli stati limite di esercizio.

### 8.6 Suolo di fondazione

Il terreno è classificabile come suolo di tipo C secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 al paragrafo 3.2.2, infatti trattasi di “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180m/s e 360m/s*”. Per maggiori chiarimenti si demanda all’allegato C contenente la tavola Fase2\_RGEOL-T\_01-Relazione geologica e geotecnica redatta dai tecnici esterni al Comune nell’ambito dell’appalto “*servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità – LOTTO 7 – CUP: B65117000050001 CIG – LOTTO 7: 7882655CAD*”.

### 8.7 Spettro elastico

Noti il tipo di suolo ed i parametri del sito sono definiti tutti gli altri parametri correlati per la determinazione dello spettro elastico come di seguito richiamato.

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad T_B = T_C / 3 \quad T_D = 4,0 \cdot \frac{\alpha_g}{g} + 1,6$$

Categoria sismica	$S_s$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_s \cdot \frac{\alpha_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{4,0}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_s \cdot \frac{\alpha_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{0,75}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_s \cdot \frac{\alpha_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_s \cdot \frac{\alpha_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{0,50}$

$$ST = 1 \quad S = S_s \times ST$$

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$\alpha_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	$C_C$	$S_s$	$S_t$	S	$T_b$	$T_c$	$T_d$
SLO	30	0,058	2,346	0,305	1,554	1,500	1,000	1,500	0,158	0,474	2,126
SLD	75	0,073	2,340	0,325	1,521	1,500	1,000	1,500	0,165	0,494	2,283
SLV	712	0,188	2,386	0,345	1,492	1,434	1,000	1,434	0,172	0,515	3,375
SLC	1462	0,234	2,452	0,349	1,486	1,358	1,000	1,358	0,173	0,519	3,895

In figura sono riportati i valori di tutti i parametri per la definizione univoca degli spettri elastici relativi agli stati limite di interesse. Gli spettri così determinati sono riportati nella sottostante figura.

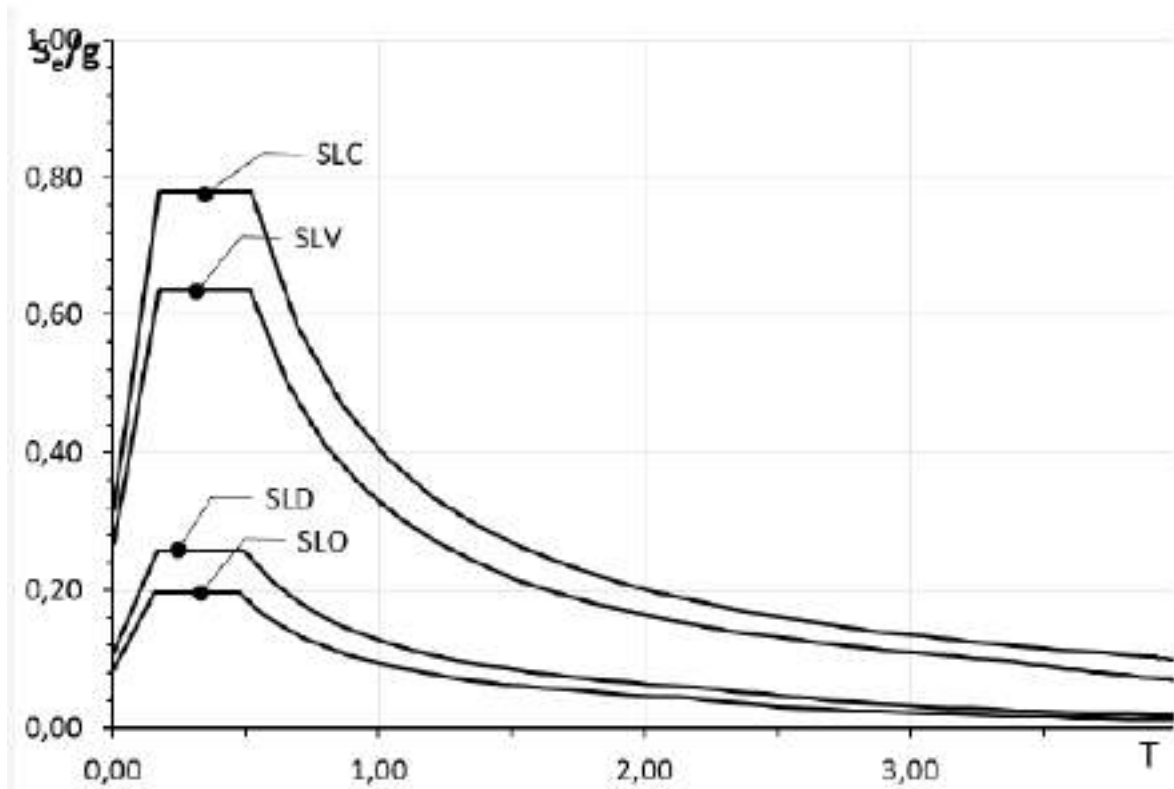


Figura 38: Spettri elastici orizzontali



## PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA

Componente 1 – Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università -  
Investimento 1.1 “Piano per asili nido e scuole dell'infanzia e servizi di educazione e cura per la prima  
infanzia”



## *PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA*

*Messa in sicurezza e Riqualificazione mediante intervento di sostituzione edilizia del Plesso Infanzia dell'I.C. 80° Berlinguer - (Cod. Ares 0630491412)*

Responsabile del Procedimento:

**Arch. Alfonso Ghezzi**

Progettisti:

**Ing. Marianna Vanacore  
Arch. Laura Bellino**

TAVOLA:

**R.03**

Descrizione elaborato:

**Relazione Specialistica Efficientamento  
Energetico**

Scala:

Data:

**MARZO 2022**

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica di fattibilità dell'intervento di riqualificazione energetica a farsi al Plesso dell'Infanzia dell'I.C. 80 Berlinguer– Cod. Ares 0630491412. Trattandosi di intervento di abbattimento e ricostruzione la relazione illustra lo stato attuale dell'edificio esistente e le tecnologie che saranno utilizzati per la realizzazione del nuovo edificio scolastico.

Ai sensi del DPR 412/93, esso ricade nella destinazione d'uso E.7: Edifici adibiti ad attività scolastiche. L'immagine aerea seguente riporta una vista del complesso esistente:



Figura 1 – Inquadramento dell'edificio oggetto di studio di fattibilità tecnico ed economico

Le tabelle che seguono riportano i dati geografici e climatici utili per la redazione del presente studio:

DATI GEOGRAFICI	
Città	<b>NAPOLI</b>
Altitudine	<b>17 m</b>
Latitudine	<b>40°51"</b>
Longitudine	<b>14°15"</b>

Tabella 1: Dati geografici edificio

CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	
Zona Climatica	C
Temperatura esterna di progetto	2 °C
Gradi Giorno	1.034 GG
Durata convenzionale del periodo di riscaldamento:	10 ore giornaliere dal 15 novembre al 15 marzo

Tabella 2: Tabella 2: Dati climatizzazione invernale edificio



## 2 EFFICIENZA ENERGETICA DELL'EDIFICIO ESISTENTE

### DATI di PROGETTO

Altitudine	[m]	17
Latitudine		40°51'
Longitudine		14°15'
Temperatura esterna	Te [°C]	2
Località di riferimento per temperatura esterna		NAPOLI
Gradi giorno	[°C•24h]	1034
Località di riferimento per gradi giorno		NAPOLI
Zona climatica		C
Velocità del vento media giornaliera [media annuale]	[m/s]	2.3
Direzione prevalente del vento		NE
Località di riferimento del vento		
Zona vento		3
Località rif. irradiazione		;

### Irradiazione globale su superficie verticale (MJ/m<sup>2</sup>)

mese	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	oriz	Te
novembre	2.4	2.4	2.8	4.1	5.9	7.8	9.6	11.2	11.9	7.6	15.5
dicembre	1.9	1.9	2.1	3.1	4.6	6.3	8.0	9.6	10.2	5.8	12.1
gennaio	2.2	2.2	2.5	3.6	5.2	7.0	8.8	10.4	11.1	6.7	10.5
febbraio	3.0	3.0	3.8	5.4	7.2	8.9	10.3	11.5	12.2	9.6	10.6
marzo	4.1	4.6	6.1	8.0	9.8	11.2	12.0	12.3	12.5	13.9	13.2

Inizio riscaldamento		15-11
Fine riscaldamento		31-03
Durata periodo di riscaldamento	p [giorno]	137
Ore giornaliere di riscaldamento	[ore]	10
Situazione esterna :		in città
Temperatura aria ambiente	Ta [°C]	20.0
Umidità interna	Ui [%]	50.0
Classe di permeabilità all'aria dei serramenti esterni: (si veda singola struttura finestrata)		

### RIEPILOGO DISPERSIONI

GALE EDIFICIO 980.1 4804.8 0.204 0.804 0.372 145207

Appart/zona/ambiente	A	volume	S/V	Cdr	Cdl	dispers
----------------------	---	--------	-----	-----	-----	---------

Piano/Scala: 01 **TERRA** 65920

<b>0101 MATERNA BERLINGUER</b>	490.0	2402.4	0.204			65920
01 UNICO	490.04	2402.40	0.204			65920

Piano/Scala: 02 **PRIMO** 79287

<b>0201 MATERNA BERLINGUER</b>	490.0	2402.4	0.204			79287
01 UNICO	490.04	2402.40	0.204			79287



## CALCOLO DISPERSIONI DI CALORE PER SINGOLO AMBIENTE

AMBIENTE : 010101 UNICO

Te = 2  
Ta = 20

q	ric	largh	lung	altez	volume	dispvol
1	2.5	30.80	26.00	3.00	2402.4	37838

nr	Co-str	q	es	U	dt	lung	al/la	A	A·U·dt	a.es	dispra
01	186 P.E	1	N	1.46	18	6.00	3.00	18.00	473.36	1.20	568
02	186 P.E	1	E	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.15	181
03	186 P.E	1	N	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.20	189
04	186 P.E	1	E	1.46	18	1.40	3.00	4.20	110.45	1.15	127
05	186 P.E	1	N	1.46	18	10.20	3.00	19.35	508.87	1.20	611
06	216 S.E	1	N	3.06	18	7.50	1.50	11.25	618.89	1.20	743
07	710 PTE	1	N	0.13	18	18.00	1.00	0.00	40.50	1.20	49
08	186 P.E	1	E	1.46	18	6.50	3.00	19.50	512.81	1.15	590
09	186 P.E	1	N	1.46	18	29.00	3.00	74.10	1948.68	1.20	2338
10	216 S.E	2	N	3.06	18	4.30	1.50	12.90	709.66	1.20	852
11	710 PTE	2	N	0.13	18	11.60	1.00	0.00	52.20	1.20	63
12	216 S.E	1	N	3.06	18	4.70	0.80	3.76	206.85	1.20	248
13	710 PTE	1	N	0.13	18	11.00	1.00	0.00	24.75	1.20	30
14	216 S.E	1	N	3.06	18	1.00	2.20	2.20	121.03	1.20	145
15	710 PTE	1	N	0.13	18	6.40	1.00	0.00	14.40	1.20	17
16	186 P.E	1	E	1.46	18	10.00	3.00	23.64	621.68	1.15	715
17	216 S.E	1	E	3.06	18	5.30	1.20	6.36	349.88	1.15	402
18	710 PTE	1	E	0.13	18	13.00	1.00	0.00	29.25	1.15	34
19	216 S.E	1	E	3.06	18	3.90	1.20	4.68	257.46	1.15	296
20	710 PTE	1	E	0.13	18	10.20	1.00	0.00	22.95	1.15	26
21	186 P.E	1	S	1.46	18	1.00	3.00	3.00	78.89	1.00	79
22	186 P.E	1	S	1.46	18	5.00	3.00	15.00	394.47	1.00	394
23	186 P.E	1	E	1.46	18	3.00	3.00	9.00	236.68	1.15	272
24	186 P.E	1	S	1.46	18	13.00	3.00	26.10	686.38	1.00	686
25	216 S.E	2	S	3.06	18	4.30	1.50	12.90	709.66	1.00	710
26	710 PTE	2	S	0.13	18	11.60	1.00	0.00	52.20	1.00	52
27	186 P.E	1	E	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.15	181
28	186 P.E	1	S	1.46	18	13.00	3.00	25.80	678.49	1.00	678
29	216 S.E	1	S	3.06	18	6.00	2.20	13.20	726.16	1.00	726
30	710 PTE	1	S	0.13	18	16.40	1.00	0.00	36.90	1.00	37
31	186 P.E	1	W	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.10	174
32	186 P.E	1	S	1.46	18	18.50	3.00	36.15	950.67	1.00	951
33	216 S.E	3	S	3.06	18	4.30	1.50	19.35	1064.49	1.00	1064
34	710 PTE	3	S	0.13	18	11.60	1.00	0.00	78.30	1.00	78
35	186 P.E	1	W	1.46	18	8.00	3.00	21.36	561.73	1.10	618
36	216 S.E	1	W	3.06	18	1.20	2.20	2.64	145.23	1.10	160
37	710 PTE	1	W	0.13	18	6.80	1.00	0.00	15.30	1.10	17
38	186 P.E	1	S	1.46	18	4.00	3.00	12.00	315.58	1.00	316
39	186 P.E	1	W	1.46	18	3.00	3.00	9.00	236.68	1.10	260
40	186 P.E	1	N	1.46	18	7.20	3.00	16.48	433.39	1.20	520
41	216 S.E	1	N	3.06	18	6.40	0.80	5.12	281.66	1.20	338
42	710 PTE	1	N	0.13	18	14.40	1.00	0.00	32.40	1.20	39
43	186 P.E	1	W	1.46	18	5.00	3.00	15.00	394.47	1.10	434
44	186 P.E	1	S	1.46	18	3.00	3.00	9.00	236.68	1.00	237

## CALCOLO DISPERSIONI DI CALORE PER SINGOLO AMBIENTE

### AMBIENTE : 010101 UNICO

nr	Co-str	q	es	U	dt	lung	al/la	A	A·U·dt	a.es	dispra
45	186 P.E	1	W	1.46	18	5.00	3.00	15.00	394.47	1.10	434
46	533 PAV	1	TF	1.30	10	26.00	30.80	800.80	10402.39	1.00	10402
47	600 SOF	1	TF	1.18	0	26.00	30.80	800.80	0.00	1.00	0
<b>TOTALI:</b>	<b>dispvol</b>	<b>+</b>	<b>(dispra·au%)</b>	<b>=</b>	<b>A</b>	<b>volume</b>	<b>S/V</b>				
	37838		28082	0%	65920	490.04	2402.4	0.20			

### AMBIENTE : 020101 UNICO

Te = 2											
Ta = 20											
	<b>q</b>	<b>ric</b>	<b>largh</b>	<b>lung</b>	<b>altez</b>	<b>volume</b>	<b>dispvol</b>				
	1	2.5	30.80	26.00	3.00	2402.4	37838				

nr	Co-str	q	es	U	dt	lung	al/la	A	A·U·dt	a.es	dispra
01	186 P.E	1	N	1.46	18	6.00	3.00	18.00	473.36	1.20	568
02	186 P.E	1	E	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.15	181
03	186 P.E	1	N	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.20	189
04	186 P.E	1	E	1.46	18	1.40	3.00	4.20	110.45	1.15	127
05	186 P.E	1	N	1.46	18	10.20	3.00	19.35	508.87	1.20	611
06	216 S.E	1	N	3.06	18	7.50	1.50	11.25	618.89	1.20	743
07	710 PTE	1	N	0.13	18	18.00	1.00	0.00	40.50	1.20	49
08	186 P.E	1	E	1.46	18	6.50	3.00	19.50	512.81	1.15	590
09	186 P.E	1	N	1.46	18	29.00	3.00	74.10	1948.68	1.20	2338
10	216 S.E	2	N	3.06	18	4.30	1.50	12.90	709.66	1.20	852
11	710 PTE	2	N	0.13	18	11.60	1.00	0.00	52.20	1.20	63
12	216 S.E	1	N	3.06	18	4.70	0.80	3.76	206.85	1.20	248
13	710 PTE	1	N	0.13	18	11.00	1.00	0.00	24.75	1.20	30
14	216 S.E	1	N	3.06	18	1.00	2.20	2.20	121.03	1.20	145
15	710 PTE	1	N	0.13	18	6.40	1.00	0.00	14.40	1.20	17
16	186 P.E	1	E	1.46	18	10.00	3.00	23.64	621.68	1.15	715
17	216 S.E	1	E	3.06	18	5.30	1.20	6.36	349.88	1.15	402
18	710 PTE	1	E	0.13	18	13.00	1.00	0.00	29.25	1.15	34
19	216 S.E	1	E	3.06	18	3.90	1.20	4.68	257.46	1.15	296
20	710 PTE	1	E	0.13	18	10.20	1.00	0.00	22.95	1.15	26
21	186 P.E	1	S	1.46	18	1.00	3.00	3.00	78.89	1.00	79
22	186 P.E	1	S	1.46	18	5.00	3.00	15.00	394.47	1.00	394
23	186 P.E	1	E	1.46	18	3.00	3.00	9.00	236.68	1.15	272
24	186 P.E	1	S	1.46	18	13.00	3.00	26.10	686.38	1.00	686
25	216 S.E	2	S	3.06	18	4.30	1.50	12.90	709.66	1.00	710
26	710 PTE	2	S	0.13	18	11.60	1.00	0.00	52.20	1.00	52
27	186 P.E	1	E	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.15	181
28	186 P.E	1	S	1.46	18	13.00	3.00	25.80	678.49	1.00	678
29	216 S.E	1	S	3.06	18	6.00	2.20	13.20	726.16	1.00	726
30	710 PTE	1	S	0.13	18	16.40	1.00	0.00	36.90	1.00	37
31	186 P.E	1	W	1.46	18	2.00	3.00	6.00	157.79	1.10	174
32	186 P.E	1	S	1.46	18	18.50	3.00	36.15	950.67	1.00	951
33	216 S.E	3	S	3.06	18	4.30	1.50	19.35	1064.49	1.00	1064
34	710 PTE	3	S	0.13	18	11.60	1.00	0.00	78.30	1.00	78
35	186 P.E	1	W	1.46	18	8.00	3.00	21.36	561.73	1.10	618
36	216 S.E	1	W	3.06	18	1.20	2.20	2.64	145.23	1.10	160

## CALCOLO DISPERSIONI DI CALORE PER SINGOLO AMBIENTE

AMBIENTE : 020101 UNICO

nr	Co-str	q	es	U	dt	lung	al/la	A	A·U·dt	a.es	dispra
37	710 PTE	1	W	0.13	18	6.80	1.00	0.00	15.30	1.10	17
38	186 P.E	1	S	1.46	18	4.00	3.00	12.00	315.58	1.00	316
39	186 P.E	1	W	1.46	18	3.00	3.00	9.00	236.68	1.10	260
40	186 P.E	1	N	1.46	18	7.20	3.00	16.48	433.39	1.20	520
41	216 S.E	1	N	3.06	18	6.40	0.80	5.12	281.66	1.20	338
42	710 PTE	1	N	0.13	18	14.40	1.00	0.00	32.40	1.20	39
43	186 P.E	1	W	1.46	18	5.00	3.00	15.00	394.47	1.10	434
44	186 P.E	1	S	1.46	18	3.00	3.00	9.00	236.68	1.00	237
45	186 P.E	1	W	1.46	18	5.00	3.00	15.00	394.47	1.10	434
46	500 PAV	1	TF	1.45	0	26.00	30.80	800.80	0.00	1.00	0
47	653 SOF	1	TF	1.65	18	26.00	30.80	800.80	23769.35	1.00	23769
<b>TOTALI:</b>	<b>dispvol</b>	<b>+</b>	<b>(dispra·au%)</b>	<b>=</b>	<b>A</b>	<b>volume</b>	<b>S/V</b>				
	37838		41449 0%	79287	490.04	2402.4	0.20				



Nelle pagine successive sono riportate le tabelle relative alle:

## CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI TRASPARENTI

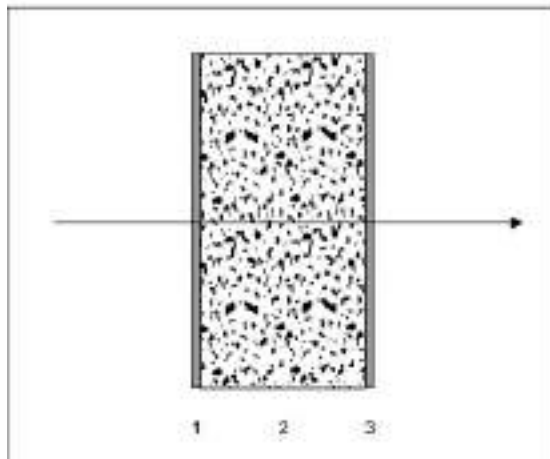
### LEGENDA

$s$	[m]	<i>Spessore dello strato</i>
$\lambda$	[W/mK]	<i>Conduttività termica del materiale</i>
$C$	[W/m <sup>2</sup> K]	<i>Conduttanza unitaria</i>
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Massa volumica</i>
$\delta_a \cdot 10^{12}$	[kg/msPa]	<i>Permeabilità di vapore nell'intervallo di umidità relativa 0-50 %</i>
$\delta_u \cdot 10^{12}$	[kg/msPa]	<i>Permeabilità di vapore nell'intervallo di umidità relativa 50-95 %</i>
$R$	[m <sup>2</sup> K/W]	<i>Resistenza termica dei singoli strati</i>
$A_g$	[m <sup>2</sup> ]	<i>Area del vetro</i>
$A_f$	[m <sup>2</sup> ]	<i>Area del telaio</i>
$L_g$	[m]	<i>Lunghezza perimetrale della superficie vetrata</i>
$U_g$	[W/m <sup>2</sup> K]	<i>Trasmittanza termica dell'elemento vetrato</i>
$U_f$	[W/m <sup>2</sup> K]	<i>Trasmittanza termica del telaio</i>
$\Psi_l$	[W/mK]	<i>Trasmittanza lineica (nulla in caso di singolo vetro)</i>
$U_w$	[W/m <sup>2</sup> K]	<i>Trasmittanza termica totale del serramento</i>
$c$	[J/(kg·K)]	<i>Capacità termica specifica</i>
$\delta$	[m]	<i>Profondità di penetrazione periodica di un'onda termica</i>
$\xi$	[-]	<i>Rapporto tra lo spessore dello strato e la profondità di penetrazione</i>
$\chi$	[J/(m <sup>2</sup> K)]	<i>Capacità termica areica</i>
$Y_{mn}$	[W/(m <sup>2</sup> K)]	<i>Ammetenza termica dinamica</i>
$Z_{mn}$		<i>Elemento della matrice di trasmissione del calore</i>
$Z_{11}$	[-]	
$Z_{12}$	[m <sup>2</sup> ·K/W]	
$Z_{21}$	[W/(m <sup>2</sup> K)]	
$Z_{22}$	[-]	
$T$	[s]	<i>Periodo delle variazioni</i>
$\Delta t$	[s]	<i>Variazione di tempo: anticipo (se positiva) o ritardo (se negativa)</i>

## CARATTERISTICHE TERMICHE/IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

TIPO DI STRUTTURA *Muratura esterna in tufo sp. 35cm*  
*cod 186 P.E*

Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	498.0	Capacità [kJ/m <sup>3</sup> K]	625.3	Type Ashrae		20			
N	Descrizione strato (dall'interno verso l'esterno)		s (m)	λ (W/mK)	C (W/m <sup>2</sup> K)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	δa 10 <sup>12</sup> (kg/m <sup>3</sup> Pa)	δu 10 <sup>12</sup> (kg/m <sup>3</sup> Pa)	R (m <sup>2</sup> /KW)
1	Intonaco di calce e gesso		0,0150	0,700	46,67	1400	18,0000	18,0000	0,021
2	Tufo da 1500		0,3000	0,630	2,10	1500	1,3000	1,3000	0,476
3	Intonaco di cemento, sabbia e calce 1800 per esterno		0,0150	0,900	60,00	1800	9,3800	9,3800	0,017
SPESSORE TOTALE [m]			0,3300						



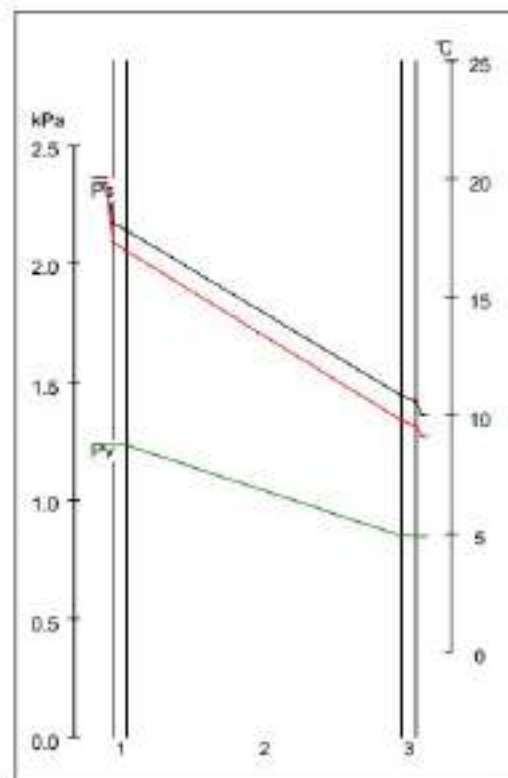
Conduttanza unitaria superficie interna	8	Resistenza unitaria superficie interna	0,130
---	---	--	-------

Conduttanza unitaria superficie esterna	25	Resistenza unitaria superficie esterna	0,040
---	----	--	-------

TRASMITTANZA TOTALE [W/m <sup>2</sup> K]	1,461	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m <sup>2</sup> /KW]	0,684
--	-------	--	-------

### VERIFICA IGROMETRICA — CONDIZIONI AL CONTORNO ESEGUITA A NORMA EN ISO 13788 (UNI10350)

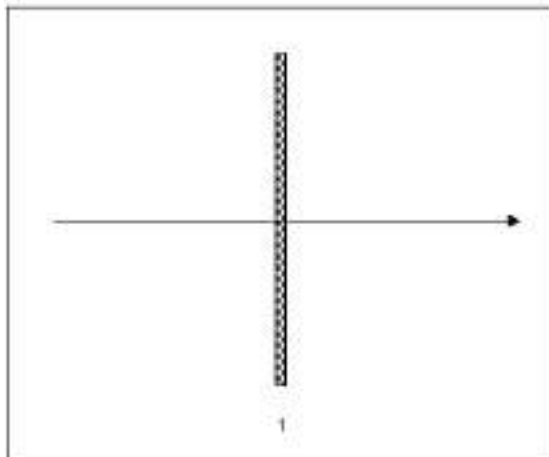
CONDIZIONE	Ti(°C)	Pi(Pa)	Te(°C)	Pe(Pa)
INVERNALE: gennaio	20.0	1234	10.5	849
ESTIVA: agosto	26.5	2043	26.5	2043
<input checked="" type="checkbox"/> La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale; la differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a [Pa]				473
<input type="checkbox"/> La struttura è soggetta a fenomeni di condensa; la quantità stagionale di condensato è pari a [kg/m <sup>2</sup> ] (ammissibile ed evaporabile nella stagione estiva)				
<input checked="" type="checkbox"/> La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale; la differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a [Pa]				921



## CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI TRASPARENTI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

**TIPO DI STRUTTURA** Serramento vetrato in vetro camera 4-9-4, adimensionale, telaio in alluminio  
cod 216 S.E

Massa [kg/m <sup>2</sup> ]	20.4	Capacità [kJ/m <sup>2</sup> K]	17.1						
N	Descrizione strato (dall'interno verso l'esterno)	s (m)	λ (W/mK)	C (W/m <sup>2</sup> K)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	δa 10 <sup>12</sup> (kg/msPa)	δu 10 <sup>12</sup> (kg/msPa)	R (m <sup>2</sup> K/W)	
1	Superfici vetrate con vetro camera 4-9-4 (U=3,049) e telaio (s = 16%) in alluminio con taglio termico da 12mm	0,0170		6,793	1200	0,0000	0,0000	0,147	
SPESSORE TOTALE [m]		0,0170							



Conduttanza unitaria superficie interna	7	Resistenza unitaria superficie interna	0,140
Conduttanza unitaria superficie esterna	25	Resistenza unitaria superficie esterna	0,040
TRASMITTANZA TOTALE[W/m <sup>2</sup> K]	3,056	RESISTENZA TERMICA TOTALE[m <sup>2</sup> K/W]	0,327

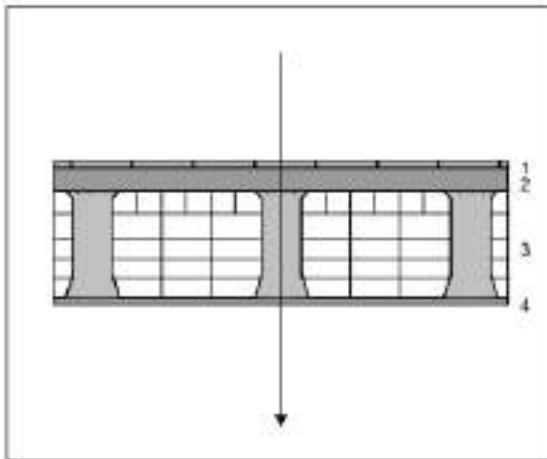
Descrizione	Ag (m <sup>2</sup> )	Af (m <sup>2</sup> )	Lg (m)	Ug (W/m <sup>2</sup> K)	Uf (W/m <sup>2</sup> K)	ψf (W/mK)	Uw (W/m <sup>2</sup> K)
Serramento singolo	1,90	0,35	7,50	3,490	3,100	0,050	3,596
Doppio serramento e/o combinato							



## CARATTERISTICHE TERMICHE/IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

**TIPO DI STRUTTURA** Pavimento tra ambienti abitati, senza isolamento, finitura in ceramica  
cod 500 PAV

Massa [kg/m <sup>2</sup> ]		515,5	Capacità [kJ/m <sup>2</sup> K]		433,0	Type Ashrae			13
N	Descrizione strato (dal'interno verso l'esterno)	s (m)	λ (W/mK)	C (W/m <sup>2</sup> K)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	δa 10 <sup>12</sup> (kg/m <sup>2</sup> Pa)	δu 10 <sup>12</sup> (kg/m <sup>2</sup> Pa)	R (m <sup>2</sup> K/W)	
1	Piastrelle di ceramica	0,0150	1,000	66,67	2300	0,9380	0,9380	0,015	
2	Malta cementizia magra di sottofondo	0,0500	1,400	28,00	2000	6,2500	6,2500	0,036	
3	Solai di tipo predalles, senza soletta cls, laterizio 12 cm, sp tot 24 cm; da 1500, flusso ascendente (da UNI 10355)	0,2400		3,571	1500	31,2500	31,2500	0,280	
4	Infonaco di calce e gesso	0,0150	0,700	46,67	1400	18,0000	18,0000	0,021	
SPESSORE TOTALE [m]		0,3200							



Conduttanza unitaria superficie interna	6	Resistenza unitaria superficie interna	0,170
---	---	--	-------

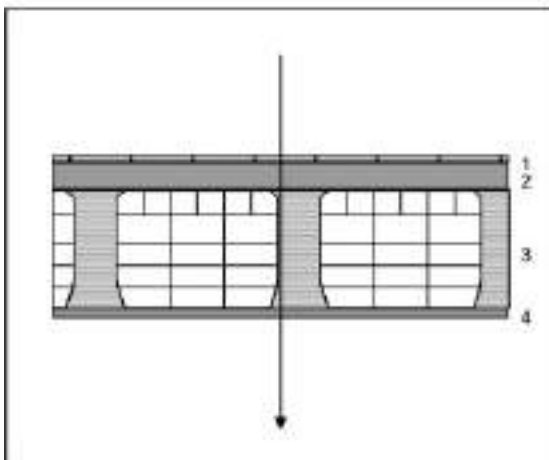
Conduttanza unitaria superficie esterna	6	Resistenza unitaria superficie esterna	0,170
---	---	--	-------

TRASMITTANZA TOTALE[W/m <sup>2</sup> K]	1,445	RESISTENZA TERMICA TOTALE[m <sup>2</sup> K/W]	0,692
---	-------	---	-------

## CARATTERISTICHE TERMICHE/IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

TIPO DI STRUTTURA *Pavimento su cantinato, finitura in ceramica*  
cod 533 PAV

Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	499,5	Capacità [kJ/m <sup>3</sup> K]	411,2	Type Ashrae		13			
N	Descrizione strato (dal'interno verso l'esterno)		s (m)	λ (W/mK)	C (W/m <sup>2</sup> K)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	δa 10 <sup>12</sup> (kg/msPa)	δu 10 <sup>12</sup> (kg/msPa)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1	Piastrine di ceramica		0,0150	1,000	66,67	2300	0,9380	0,9380	0,015
2	Malta cementizia magra di sottofondo		0,0600	1,400	23,33	2000	6,2500	6,2500	0,043
3	Soletta mista da 20 cm. in laterizio +6, nervature in cemento armato; 1150 (da UNI 10355)		0,2600		2,857	1150	31,2500	31,2500	0,350
4	Intonaco di cemento, sabbia e calce 1800 per esterno		0,0200	0,900	45,00	1800	9,3800	9,3800	0,022
SPESSORE TOTALE [m]			0,3550						

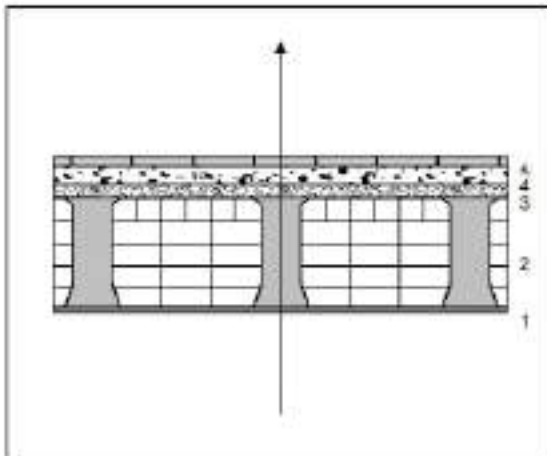


Conduttanza unitaria superficie interna	6	Resistenza unitaria superficie interna	0,170
Conduttanza unitaria superficie esterna	6	Resistenza unitaria superficie esterna	0,170
TRASMITTANZA TOTALE[W/m <sup>2</sup> K]	1,299	RESISTENZA TERMICA TOTALE[m <sup>2</sup> K/W]	0,770

## CARATTERISTICHE TERMICHE/IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

**TIPO DI STRUTTURA** *Soffitto tra ambienti abitati, senza isolamento, finitura in ceramica*  
*cod 600 SDF*

Massa [kg/m <sup>2</sup> ]		485,5	Capacità [kJ/m <sup>2</sup> K]		410,2	Type Ashrae			24
N	Descrizione strato (dall'interno verso l'esterno)	s (m)	λ (W/mK)	C (W/m <sup>2</sup> K)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	δa 10 <sup>17</sup> (kg/mPa)	δu 10 <sup>17</sup> (kg/mPa)	R	(m <sup>2</sup> K/W)
1	Intonaco di calce e gesso	0,0150	0,700	46,67	1400	18,0000	18,0000	0,021	
2	Solaio di tipo predalles, senza soletta cls, laterizio 12 cm. sp tot 24 cm; da 1500, flusso ascendente (da UNI 10355)	0,2400		3,571	1500	31,2500	31,2500	0,280	
3	Calcestruzzo di sabbia e ghiaia 2000 per pareti esterne non protette	0,0300	1,260	42,00	2000	2,9000	3,7500	0,024	
4	Calcestruzzo di perlite e di vermiculite 260 di sottofondo	0,0400	0,130	3,25	250	38,0000	38,0000	0,308	
5	Piastrelle di ceramica	0,0150	1,000	66,67	2300	0,9380	0,9380	0,015	
SPESSORE TOTALE [m]		0,3400							



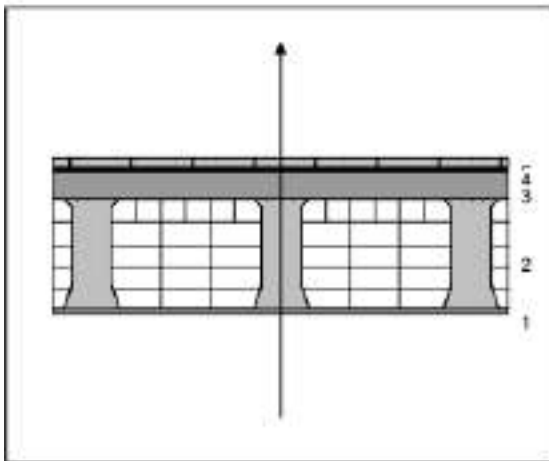
Conduttanza unitaria superficie interna	10	Resistenza unitaria superficie interna	0,100
Conduttanza unitaria superficie esterna	10	Resistenza unitaria superficie esterna	0,100
TRASMITTANZA TOTALE[W/m <sup>2</sup> K]	1,179	RESISTENZA TERMICA TOTALE[m <sup>2</sup> K/W]	0,848



## CARATTERISTICHE TERMICHE/IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

**TIPO DI STRUTTURA** *Solaio di copertura a terrazzo*  
cod 653 SOF

Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	545,1	Capacità [kJ/m <sup>3</sup> K]	458,7	Type Ashrae			12		
N	Descrizione strato (dal'interno verso l'esterno)		s (m)	λ (W/mK)	C (W/m <sup>2</sup> K)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	δa 10 <sup>12</sup> (kg/mPa)	δu 10 <sup>12</sup> (kg/mPa)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1	Intonaco di calce e gesso		0,0150	0,700	46,67	1400	18,0000	18,0000	0,021
2	Solaio di tipo predalles, senza soletta cls, laterizio 12 cm, sp tot 24 cm; da 1500, flusso ascendente (da UNI 10355)		0,2400		3,571	1500	31,2500	31,2500	0,280
3	Malta cementizia magra di sottofondo		0,0600	1,400	23,33	2000	6,2500	6,2500	0,043
4	Bitume		0,0080	0,170	21,25	1200	0,0094	0,0094	0,047
5	Piastrelle di ceramica		0,0150	1,000	66,67	2300	0,9380	0,9380	0,015
SPESSORE TOTALE [m]			0,3380						

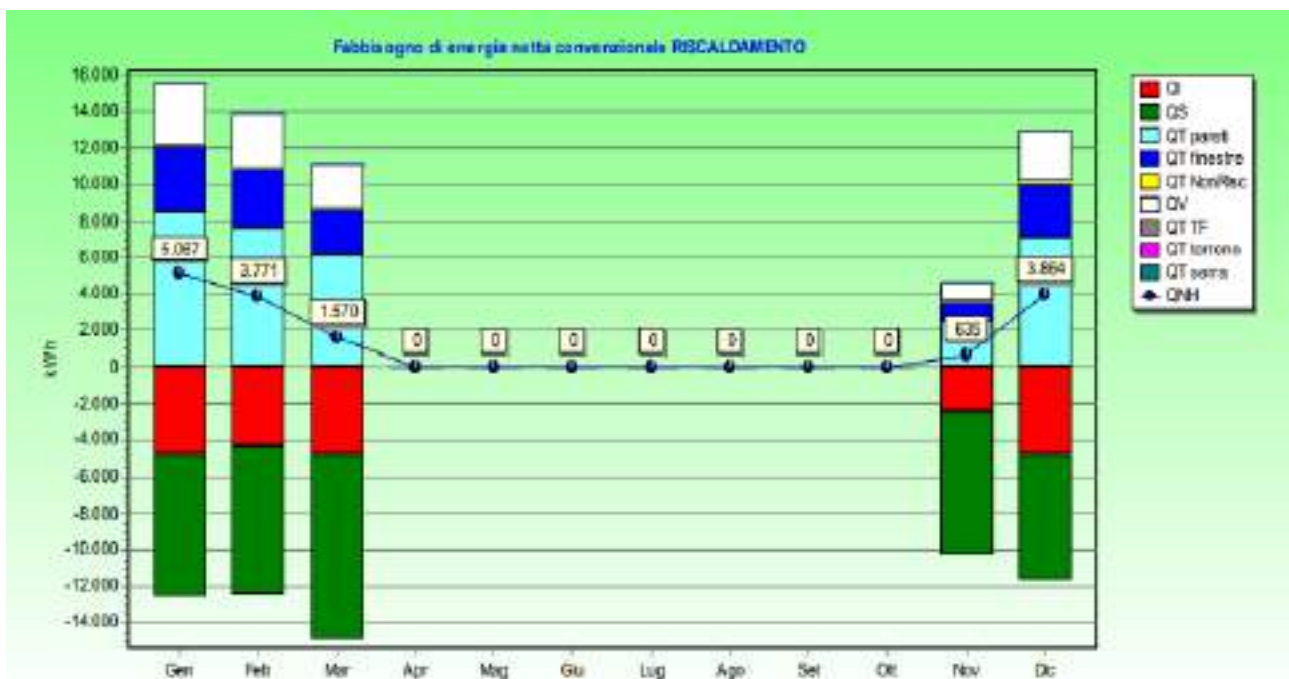


Conduttanza unitaria superficie interna	10	Resistenza unitaria superficie interna	0,100
Conduttanza unitaria superficie esterna	10	Resistenza unitaria superficie esterna	0,100
TRASMITTANZA TOTALE[W/m <sup>2</sup> K]	1,649	RESISTENZA TERMICA TOTALE[m <sup>2</sup> K/W]	0,606

### Dettaglio analitico e grafico del fabbisogno di energia netta convenzionale (in regime di RISCALDAMENTO)

ENERGIA IN [MJ]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Ottobre	Novembre	Dicembre	Totali
QT strutture opache	30547	27301	21865	0	0	8879	25402	113994
QT finestre	13183	11782	9437	0	0	3832	10963	49197
QT non riscaldati	0	0	0	0	0	0	0	0
QT ambienti adiacenti TF	0	0	0	0	0	0	0	0
QT terreno	0	0	0	0	0	0	0	0
Qt extra flusso	7372	6856	7295	0	0	3744	7327	32394
QT totale	51103	45739	38597	0	0	16455	43692	195596
QV ventilazione	12226	10926	8751	0	0	3554	10167	45623
QI	63329	56665	47348	0	0	20008	53859	241209
QI apporti interni	17159	15498	17159	0	0	8856	17159	75831
Qs apporti solari (opachi + trasparenze)	38191	40371	50504	0	0	20323	33478	182868
Qse apporti serra	0	0	0	0	0	0	0	0
Rapporto apporti/dispersioni	0.874	0.986	1.429	0.000	0.000	1.458	0.940	
nu. Fattore utilizzazione apporti	0.815	0.771	0.616	0.000	0.000	0.607	0.789	
<b>Qn,h Fabbisogno riscaldamento</b>	<b>18241</b>	<b>13575</b>	<b>5651</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2238</b>	<b>13910</b>	<b>53662</b>

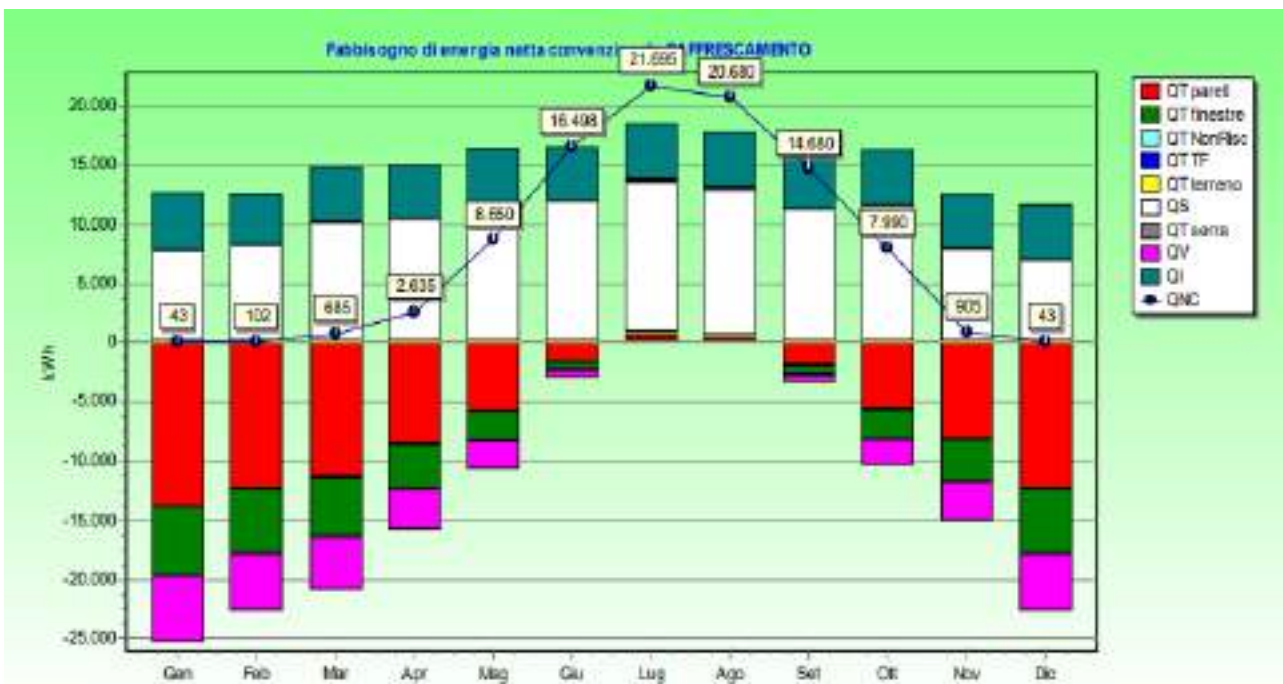
RISCALDAMENTO	Totale	Unità
Dispersione per trasmissione	11.3	kWh/m <sup>2</sup>
Dispersione per ventilazione	2.6	kWh/m <sup>2</sup>
Apporti serra	0.0	kWh/m <sup>2</sup>
Costante di tempo	34.1	h
Apporti interni	4.4	kWh/m <sup>2</sup>
Apporti solari	10.6	kWh/m <sup>2</sup>
Fabbisogno netto	3.1	kWh/m <sup>2</sup>
Volume lordo	4804.8	m <sup>3</sup>



**Dettaglio analitico e grafico del fabbisogno di energia netta convenzionale  
(in regime di RAFFRESCAMENTO)**

ENERGIA [MJ]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mai	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Total
QT opache	49840	44726	41158	31118	20901	5912	-2251	-1808	6846	20579	29567	44595	291504
QT finestre	21510	19303	17763	13430	9020	2552	-971	-694	2955	8881	12769	19289	125805
QT NR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QT TF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QT terreno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qt extra f	7372	6605	7295	6953	7116	6761	6913	6919	6799	7113	7020	7327	64264
QT totale	78722	70686	66216	51530	37037	15225	3691	4617	16569	36574	49376	71311	501554
QV	19947	17301	16473	12454	8365	2305	-901	-643	2740	8235	11661	17688	110907
QI	98569	88586	82689	63584	45402	17501	2790	3974	19309	44816	61217	89195	618221
QI	17159	15498	17159	16605	17159	16605	17159	17159	16605	17159	16605	17159	202032
Qs	38191	40371	50504	52200	59190	60379	63733	61284	55553	56181	38198	33478	430840
Qse serra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gamma	0.501	0.631	0.818	1.075	1.682	4.376	28.991	19.736	3.737	1.637	0.894	0.598	
nu	0.559	0.627	0.785	0.927	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	0.841	0.596	
<b>Qn,c</b>	<b>153</b>	<b>366</b>	<b>2495</b>	<b>3485</b>	<b>31341</b>	<b>55394</b>	<b>78102</b>	<b>74449</b>	<b>52949</b>	<b>26764</b>	<b>3297</b>	<b>153</b>	<b>340377</b>

RAFFRESCAMENTO	Totale	Unità
Dispersione per trasmissione	29.0	kWh/m <sup>2</sup>
Dispersione per ventilazione	6.7	kWh/m <sup>2</sup>
Costante di tempo	34.1	h
Apporti interni	11.7	kWh/m <sup>2</sup>
Apporti solari	25.4	kWh/m <sup>2</sup>
Apporti solari opaco	9.8	kWh/m <sup>2</sup>
Fabbisogno netto	19.7	kWh/m <sup>2</sup>
Volume lordo	4804.8	m <sup>3</sup>





## ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA

E.7 edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

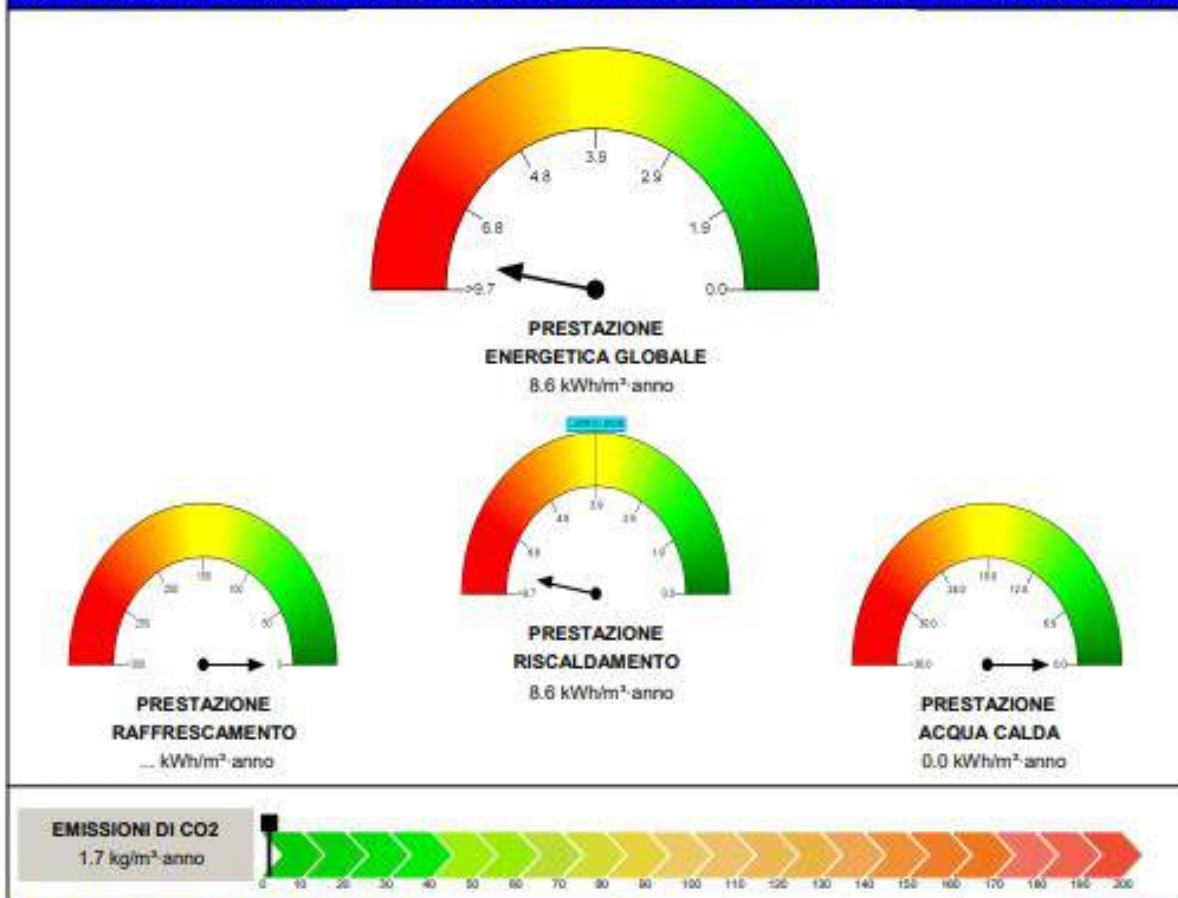
### 1. INFORMAZIONI GENERALI

Codice Certificato	Scuola "Materna Berlinguer" - Napoli - cod.105 a/b	Validità	10 Anni
Riferimenti catastali	SEZ. SEC – Foglio 6 – particella 481 – sub. 1		
Indirizzo edificio	IV traversa Cassano 28 NAPOLI		
Nuova costruzione	<input type="checkbox"/>	Passaggio di proprietà	<input type="checkbox"/>
	Riqualificazione energetica	<input type="checkbox"/>	Locazione
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
			Diagnosi energetica volontaria <input checked="" type="checkbox"/>
Proprietà	Comune di Napoli		
Indirizzo	IV Traversa Cassano 28		
E-mail		Telefono	

### 2. CLASSE ENERGETICA GLOBALE DELL'EDIFICIO

Edificio di classe: **F**

### 3. GRAFICO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE GLOBALI E PARZIALI



### 4. QUALITA' INVOLUCRO (RAFFRESCAMENTO)

I

II

III

IV

~~V~~

### 5. Metodologie di calcolo adottate

UNITS 11300 - Raccomandazione CTI 14 del Febbraio 2013

## 6. RACCOMANDAZIONI

Interventi	Prestazione Energetica/Classe a valle del singolo intervento	Tempo di ritorno (anno)
Sostituzione generatori con tipo a condensazione	4,5	6
Installare valvole termostatiche antivandalo	6,4	7
<b>PRESTAZIONE ENERGETICA RAGGIUNGIBILE</b>	<b>4,7</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>anno</b>
		<b>(&lt;10 anni)</b>

## 7. CLASSIFICAZIONE ENERGETICA GLOBALE DELL'EDIFICIO

SERVIZI ENERGETICI INCLUSI NELLA CLASSIFICAZIONE	Riscaldamento	Raffrescamento	Acqua calda sanitaria	Illuminazione
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Riferimento legislativo  
3.9 kWh/m<sup>2</sup>anno

## 8. DATI PRESTAZIONI ENERGETICHE PARZIALI

8.1 RAFFRESCAMENTO		8.2 RISCALDAMENTO		8.3 ACQUA CALDA SANITARIA		8.4 ILLUMINAZIONE	
Indice energia primaria (EPe)		Indice energia primaria (EPI)	8.60	Indice energia primaria (EPacs)	0.00	Indice energia primaria (EPII)	
Indice energia limite di legge (involucro)	10.00	Indice en. primaria limite di legge (d.lgs 192/05)	3.87			Indice en. primaria limite di legge	
Indice involucro (EPe,invol)	19.69	Indice involucro (EPI,invol)	3.10				
Rendimento impianto		Rendimento medio stagionale impianto ( $\eta_{p,s}$ )	0.361				
Fonti rinnovabili		Fonti rinnovabili		Fonti rinnovabili		Fonti rinnovabili	

## 9. NOTE

Produttori autonomi di acs assenti

## 10. EDIFICIO

Tipologia edilizia	VERIFICA A.P.E.			<b>Foto dell'edificio</b>
Tipologia costruttiva	Struttura in pannelli tipo sandwich			
Anno di costruzione		Numero di appartamenti	1	
Volume lordo riscaldato V(m <sup>3</sup> )	4804.80	Superficie utile m <sup>2</sup>	1601.60	
Superficie disperdente S(m <sup>2</sup> )	980.08	Zona climatica / GG	C / 1034	
Rapporto S/V	0.20	Destinazione d'uso	E.7	

## 11. IMPIANTI

<b>Riscaldamento</b>	Anno di installazione		Tipologia	23c. Generatori di calore a gas o gas
	Potenza nominale (kW)	155.0	Combustibile	Gas naturale
<b>Acqua calda sanitaria</b>	Anno di installazione		Tipologia	
	Potenza nominale (kW)	0.0	Combustibile	
<b>Raffrescamento</b>	Anno di installazione		Tipologia	
	Potenza nominale (kW)		Combustibile	
<b>Illuminazione</b>	Anno di installazione	---	Tipologia	---
	Potenza nominale (kW)	---		
<b>Fonti rinnovabili</b>	Anno di installazione		Tipologia	
	Energia annua prodotta (kWh <sub>el</sub> /kWh <sub>sol</sub> )	0/0		

## 12. PROGETTAZIONE

<b>Progettista/i architettonico</b>			
Indirizzo		Telefono/e-mail	
<b>Progettista/i impianti</b>			
Indirizzo		Telefono/e-mail	

## 13. COSTRUZIONE

<b>Costruttore</b>			
Indirizzo		Telefono/e-mail	
<b>Direttore/i lavori</b>			
Indirizzo		Telefono/e-mail	



14. SOGGETTO CERTIFICATORE							
Ente/Organismo pubblico	<input type="checkbox"/>	Tecnico abilitato	<input checked="" type="checkbox"/>	Energy Manager	<input type="checkbox"/>	Organismo / Società	<input type="checkbox"/>
nome e cognome/ Denominazione	Ing. Dario de Santis - Studio d'Ingegneria energetica						
Indirizzo	Via Cintia P.co S. Paolo is.4 - 80126 Napoli						
Email	deprotec@libero.it		Telefono	081-7672979			
Titolo	Ingegnere						
Ordine/iscrizione	Ord. Ing. Napoli n°6083						
Dichiarazione di indipendenza	Consapevole delle responsabilità assunte in relazione ai contenuti del presente Attestato di Certificazione/Prestazione Energetica ai sensi degli Artt. 359 e 481 del codice penale DICHIARO di poter svolgere con indipendenza ed imparzialità di giudizio, l'attività di Soggetti Certificatore per il sistema Edificio/impianto di cui al p.to 1 "informazioni generali" in quanto estraneo alle attività elencate al punto 2 comma 3 All. III del D.Lgs n°115 del 30 Maggio 2008						
Informazioni aggiuntive							

15. SOPRALLUOGHI
1) Effettuato sopralluogo il 28/10/2014
2)
3)

16. DATI IN INGRESSO			
Progetto energetico	<input type="checkbox"/>	Rilievo sull'edificio	<input checked="" type="checkbox"/>
Provenienza e responsabilità			

17. SOFTWARE			
Denominazione	STIMA10-TFM ver. 8.0.04d1	Produttore	Watts Industries Italia srl
Dichiarazione di rispondenza e garanzia di scostamento massimo dei risultati conseguiti inferiore al +/- 5% rispetto ai valori della metodologia di calcolo di riferimento nazionale (UNI TS 11300)			
Software conforme alle norme UNI TS 11300 parte 1 e 2 ai sensi del D.Lgs n°115 All.3 - Certificato CTI n° 007			
Software conforme alle norme UNI TS 11300-4: 2012 ai sensi del D.Lgs n°115 All.3 - Certificato CTI n°036			
Implementazione della Raccomandazione CTI 14/2013 per i servizi energetici inclusi nella classificazione			

Il presente attestato è reso, dal sottoscritto, in forma di dichiarazione sostitutiva di atto notorio ai sensi dell'art. 47 del D.P.R. 445/2000 e dell'art. 15, comma 1 del D.Lgs 192/2005 così come modificato dall'art. 12 del D.L. 63/2013.

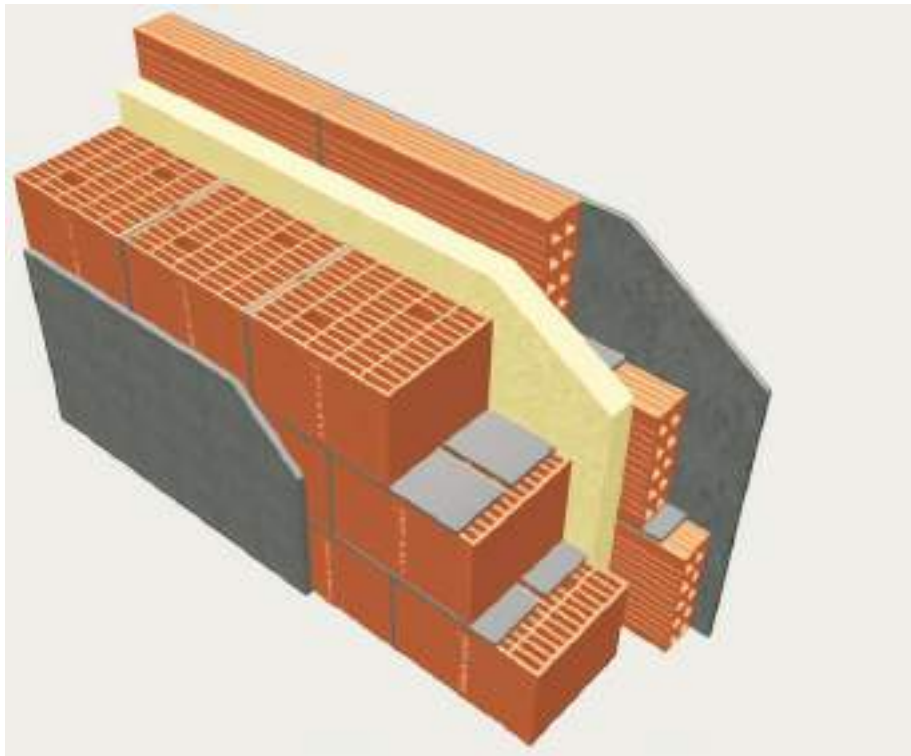
### 3 DESCRIZIONE INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Trattandosi di un intervento di abbattimento e ricostruzione il presente paragrafo illustra le caratteristiche degli elementi che costituiscono l'edificio e degli impianti che saranno utilizzati nella costruzione del nuovo edificio scolastico.

A livello progettuale si prevede di adottare specifiche soluzioni tecniche volte al maggior risparmio energetico e tendenti sia alla minor produzione di rifiuti che al minor inquinamento nel rispetto dell'ambiente (rispetto delle norme sul risparmio energetico - D. Lgs.311/2006, D.lgs. 192/2005, e L.R.39/2005 e s.m.i). Gli impianti saranno sezionati regolandoli separatamente, nel rispetto della flessibilità impiantistica che prevede anche modifiche dimensionali degli spazi (pareti/porte scorrevoli che raddoppiano o dimezzano spazi). Gli impianti tecnologici saranno progettati e dimensionati nel rispetto delle normative specifiche.

La scuola verrà quindi realizzata utilizzando criteri di risparmio energetico e sostenibilità, a tal fine si terrà conto in particolar modo dei seguenti elementi:

- **Tamponatura** con esternamente blocco di laterizio porizzato di spessore 20 cm mentre internamente blocco di laterizio da 8 cm, tra i due blocchi di laterizio è interposto isolante termico in poliuretano dello spessore di almeno 5 cm.



- **Realizzazione di impianto fotovoltaico e impianto solare termico** dimensionati in funzione delle esigenze del complesso scolastico. L'impianto sarà dimensionato in modo da rispettare l'obbligo di normativa di coprire tramite energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili il 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria ed il 50% dei consumi globali previsti per acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento. I moduli fotovoltaici che saranno utilizzati sono quelli al silicio policristallino con potenza di picco pari a 220W cadauno ideale sia per utenze connesse alla rete elettrica (grid-connected), sia per utenze isolate (stand-alone). Tale tipologia di moduli è tale da garantire le migliori prestazioni elettriche in termini di rendimento e più elevata affidabilità rispetto ad altre tipologie quali, ad esempio, quelli al silicio amorfo.



I parametri di rilievo degli stessi sono i seguenti:

- Modulo ad alta potenza di picco pari a 220W, composto da celle solari policristalline (di numero pari a 60) aventi dimensioni pari a (156x156) mm. Peso singolo pari a 22 Kg.
- Presenza di diodi by-pass per minimizzare la perdita di potenza dovuta ad eventuali fenomeni di ombreggiamento.
- Impiego di vetro temperato, adeguate resine, strati impermeabili e cornici in alluminio per lunghe durate in qualsiasi situazione meteorologica. Trattamento antiriflettente.
- Intelaiatura in alluminio.
- Terminali d'uscita con cavi precablati a connessione rapida impermeabile.
- Alta resistenza meccanica (in conformità alla Norma IEC 61215), con carichi fino a 5,4 kN/m<sup>2</sup>, per i quali si conferma che il modulo è adatto a sostenere elevate quantità di neve e ghiaccio.
- Efficienza del modulo pari a 13,12 %.

- **Infissi esterni con telaio metallico a taglio termico con triplo vetro e doppia camera con gas argon**

La camera interna all'alloggiamento del vetro ventilata in modo da prevenire eventuali formazioni di condensa in corrispondenza della sigillatura del vetro camera. Accessori di movimento e chiusura di primaria qualità di materiale protetto contro la corrosione con zincatura di 15 micron e successiva passivazione comprendenti cremonesi con maniglia in lega di alluminio e cerniere in numero 2,3 o 4 per anta, a seconda delle dimensioni, con perno e rondelle anti-frizione. Guarnizioni in EPDM. Qualità certificata secondo DIN 7863 elastometriche resistenti all'invecchiamento alloggiare in una sede continua dei profilati.



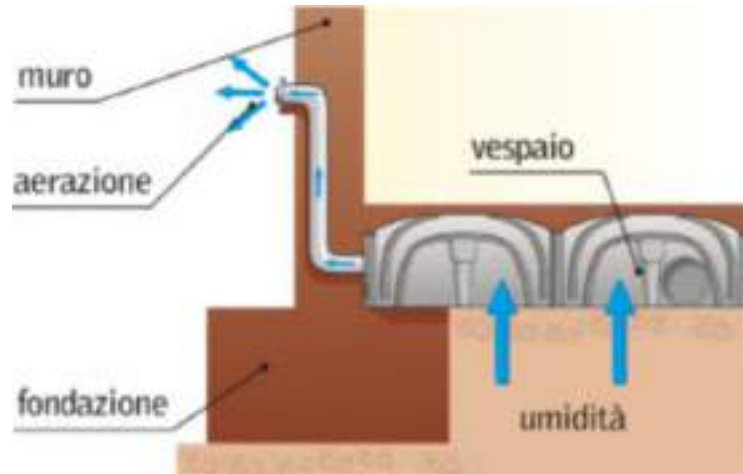
- **Isolamento del piano terra controterra con sistema ad igloo**

Le funzioni principali sono:

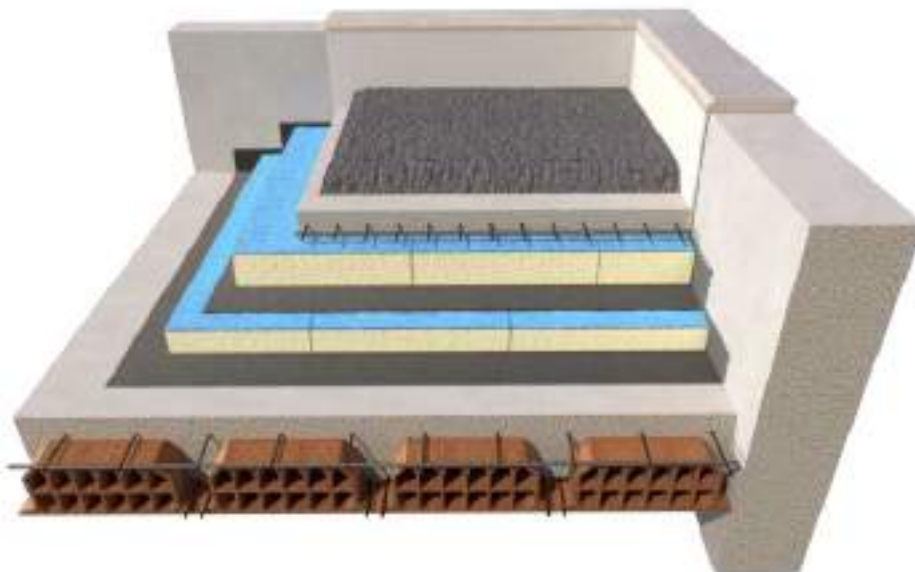
- impermeabilizzare contro l'umidità di risalita. In pratica, si crea un distacco tra il terreno e l'edificio, permettendo all'aria di circolare e quindi di portar via l'umidità con fori sulle mu-



rature esterne almeno ogni 2/3 metri per poter far circolare l'aria liberamente. Senza ventilazione, il vespaio è una struttura priva di significato.



- permettere il passaggio sotto la soletta di cavi, tubazioni ed impianti. Altro aspetto molto importante da considerare in fase di progettazione è il passaggio degli impianti e specialmente dei tubi di scarico delle acque nere. Quest'ultimi devono avere pendenze maggiori del 1,5% e devono raggiungere la fossa biologica. In questo, le altezze dei casseforme svolgono un ruolo primario.
- isolare termicamente: il nuovo solaio sopra il vespaio, dovrà rispettare determinati requisiti di legge volti al risparmio energetico attestati attraverso la relazione energetica nota come "legge 10". In particolare, la trasmittanza (capacità di un materiale di dissipare calore) del solaio dovrà essere inferiore ai valori indicati di seguito, che variano in base alla zona climatica dove si trova l'immobile oggetto di intervento nel nostro caso è C.
- **Isolamento termico della copertura piana ed inclinata con pannelli in poliuretano da 10 cm** secondo i seguenti strati: barriera a vapore; pannello in poliuretano da 10 cm; massetto livellante; primer per posa impermeabilizzazione; guaina impermeabilizzante; strato protettivo.



- **impianto di riscaldamento**, sempre nell'ottica di definire un complesso edilizio che limiti i consumi energetici e riduca i costi di manutenzione, la proposta progettuale prevede l'utilizzo di tecnologie che massimizzino l'efficienza e garantiscano il comfort indoor in ogni stagione (pompa di calore aria/acqua ad inverter abbinata a impianto fotovoltaico).

Per la gestione dei consumi elettrici e di riscaldamento/raffrescamento, anche da remoto, dovrà essere installato un sistema intelligente di building automation (BACS).

Un forte contributo alla regolazione della temperatura e dell'umidità interna verrà garantito dall'impianto di ricambio d'aria forzato con recuperatore di calore ad alta efficienza. Nelle strutture molto isolate risulta necessario l'inserimento dell'impianto di ricambio d'aria; esso contribuisce a ridurre i consumi energetici ed a mantenere la purezza dell'aria. Ogni ambiente potrà essere dotato di sensore di presenza collegato alle saracinesche poste sulle canalizzazioni o all'interruttore/variante delle singole macchine. Con presenza di persone all'interno degli ambienti l'impianto di ricambio d'aria ricomincerà automaticamente a funzionare facendo defluire i proporzionati volumi d'aria.

- **boiler a pompa di calore per la produzione ACS**



- **Illuminazione con lampade a LED con dimmer incorporato** per la modulazione dell'intensità luminosa. Ogni ambiente potrà essere dotato di sensore di luminosità con taratura adeguata a garantire il giusto livello luminoso. I sensori di luminosità, abbinati ai sensori di presenza, garantiranno la riduzione dei consumi elettrici: ad ambiente vuoto il sensore di presenza darà il consenso allo spegnimento dei corpi illuminanti; con presenza di persone, per contro, verrà chiamato in causa il sensore di luminosità che bilancerà il flusso luminoso, a seconda del livello di luminosità naturale, fino a raggiungere il livello assegnato per il determinato ambiente.

Dal confronto con i tradizionali sistemi di illuminazione, la tecnologia LED offre i vantaggi di seguito elencati:

- il risparmio ottenuto utilizzando l'illuminazione a LED è di circa il 93% rispetto alle lampade a incandescenza, 90% rispetto alle lampade alogene e 66% rispetto alle lampade fluorescenti.
- Una lampadina a LED mantiene la maggior parte della sua luminosità anche dopo un utilizzo di oltre 50000 ore. La vita media di una lampadina a incandescenza è invece calcolata in 1.000 (1.500) ore e di una fluorescente a circa 6mila ore. In pratica, se si usasse una lampadina a LED per circa 8 ore al giorno, tutti i giorni, la sua durata raggiungerebbe 16/17 anni.
- Non inquinano. Le lampadine a LED rispetto a quelle a incandescenza o alle fluorescenti, non contengono gas nocivi e sostanze tossiche.

- Nessuna emissione di raggi ultravioletti, normalmente dannosi per l'uomo se vi si espone per lungo tempo, né di raggi infrarossi. Proprio la mancanza di emissioni di raggi U.V. permette di usufruire di un altro vantaggio: quello di non attirare la maggior parte delle specie di insetti sensibili agli ultravioletti.
- Ridotta emissione di calore: la temperatura dei LED raramente è superiore ai 50° C e l'involucro è normalmente in grado di controllare il calore generato e di smaltirlo verso dissipatori esterni. Questa caratteristica rende possibile l'installazione delle lampade a LED anche su materiali che temono l'eccessivo calore, come il legno e la plastica.

Tale sistema di illuminazione a led consente di ottenere un risparmio sull'energia consumata per l'illuminazione e riduce i costi di manutenzione grazie alla elevata durabilità dei corpi luminosi.

Con gli interventi proposti per involucro e sistema di riscaldamento, e l'installazione dell'impianto fotovoltaico, la prestazione energetica può arrivare alla classe A4.