



RELAZIONE GENERALE E RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE



Ex Mensa - Scuola Primaria

Via Santa Veronica
Orosei (NU)

Cod. R20080



Tel 02 36527601
ufficiotecnico@tecnoindagini.it
www.tecnoindagini.it

Committente:
Comune di Orosei
Via Santa Veronica, 5
10075 - Orosei (NU)

INDICE

1.	INTRODUZIONE	2
1.1.	Norme di riferimento	3
1.2.	Pericolosità sismica	4
2.	RILIEVO DELL'EDIFICIO E INDAGINI IN SITU	7
2.1.	Analisi storico-critica	7
2.2.	Caratterizzazione meccanica dei materiali	11
2.3.	Rilievo geometrico-strutturale	14
2.4.	Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	19
3.	DESCRIZIONE DEL METODO DI ANALISI E DEL MODELLO	21
3.1.	Metodo di analisi	21
3.2.	Modellazione della struttura	25
3.3.	Vincoli esterni	26
3.4.	Diaframmi di piano	27
3.5.	Carichi e masse	28
4.	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STATICA	29
4.1.	Strutture in Muratura	30
5.	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA	31
5.1.	Analisi modale	32
5.2.	Verifica sismica dei meccanismi locali fuori piano	35
5.3.	Verifica sismica con metodo push-over e telai equivalenti	37
5.4.	Vulnerabilità Specifiche	44
5.5.	Classificazione Sismica	45
6.	CONCLUSIONI	46
6.1.	Sicurezza statica	47
6.2.	Sicurezza sismica	48

1. INTRODUZIONE

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza si è proceduto ad eseguire analisi diagnostiche ed elaborazioni per valutare il rischio sismico dell'edificio che ospita la Ex Mensa della Scuola Primaria sito in Via Santa Veronica a Orosei (NU).

Ciascun territorio, in base alla sua natura geologica, è contraddistinto da una pericolosità sismica, determinata dalla probabilità (P_{VR}) che si verifichi un evento sismico di una certa magnitudo entro un dato intervallo di tempo. Tale probabilità è stata determinata studiando i terremoti che storicamente si sono ripetuti con frequenze e forze caratteristiche. In altri termini, la **pericolosità** sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità dell'intervallo di tempo di ritorno dell'evento sismico (T_R). La pericolosità sismica tiene anche conto dell'esposizione al rischio, infatti, la maggiore o minore presenza di persone e di beni esposti al rischio, modifica la possibilità di subire la perdita di vite umane o danni ai beni culturali.

Tuttavia, le conseguenze di un terremoto sugli edifici e sulla popolazione non dipendono solo dalla pericolosità sismica del luogo in cui i fabbricati insistono: i danni dipendono direttamente anche dalle caratteristiche di resistenza delle costruzioni rispetto alle azioni indotte da una scossa sismica. La predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata si definisce **vulnerabilità**. Le conseguenze di un terremoto saranno maggiori quanto più un edificio è vulnerabile per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali, mediocri modalità di costruzione, scarsa manutenzione.

Rischio = Vulnerabilità · Pericolosità · Esposizione

Il rischio sismico fornisce la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo; in base alla sismicità del territorio; alla resistenza delle costruzioni; alla natura, qualità e quantità dei beni esposti. Esso è determinato dalla combinazione della *pericolosità* e della *vulnerabilità*.

Partendo dai requisiti fissati dalle norme vigenti, l'oggetto delle analisi contenute nel presente documento, è innanzitutto determinare il **rischio sismico** dell'edificio, ovvero dalla sua propensione a subire un danno di un determinato livello, a fronte di un evento sismico di una data intensità, attraverso la determinazione dell'**indice di sicurezza sismica**.

Il metodo proposto valuta il singolo edificio, che a sua volta può essere costituito da una o più *Unità Strutturali* (US), verificando la *vulnerabilità* di ciascuna unità strutturale e accertando che questa sia compatibile con le prestazioni richieste.

La procedura si articola in cinque passaggi principali che prevedono l'acquisizione dei dati relativi al contesto territoriale, delle caratteristiche strutturali necessarie alla modellazione matematica dell'edificio e l'analisi numerica tesa alla valutazione della sicurezza globale e locale per ogni stato limite considerato. I paragrafi seguenti descrivono nei dettagli la procedura proposta nel seguente ordine:

- Pericolosità sismica
- Rilievo dell'edificio e indagini in situ
- Verifica della sicurezza in presenza di azioni statiche
- Valutazione del rischio sismico
- Classificazione sismica

1.1. Norme di riferimento

Il metodo di analisi proposto è basato sulle indicazioni tecniche e normative vigenti, in particolare al Cap. 8 NTC 2018, che definisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti. In particolare, i riferimenti inseriti nel testo fanno capo ai seguenti documenti:

NTC 2018: Decreto Ministeriale n. 17 gennaio 2018: *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Suppl. Ordinario n. 8.

DD.MM: 58-65 2017: Decreto Ministeriale n.58, 28 febbraio 2017: *Approvazione delle linee guida per la classificazione di rischio sismico delle costruzioni nonché delle modalità per l'attestazione dell'efficacia degli interventi effettuati*. Decreto Ministeriale n.65, 7 marzo 2017: *Modifiche all'articolo 3 del Decreto Ministeriale numero 58 del 28/02/2017*.

CSLP 7: Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7 del 21 gennaio 2019: *Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018*. Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 35 dell'11 febbraio 2019 - Suppl. Ordinario n. 5.

CSLP PnD: Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici febbraio 2008: *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive*.

OPCM 3274: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003: *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone*. Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 72 dell'8 maggio 2003.

OPCM 3519: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 108 dell'11 maggio 2006.

Più in generale, la stessa NTC 2018 prevede che, per quanto non diversamente specificato nel capitolo 8, si faccia riferimento alle disposizioni di carattere generale contenute negli altri capitoli della norma e queste costituiscono pertanto il riferimento anche per le costruzioni esistenti. Si intendono inoltre coerenti con i principi alla base della stessa norma, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'UE;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

1.2. Pericolosità sismica

1.2.1. Aspetti teorici e normativi

La pericolosità sismica, inerente all'intero edificio, è definita dalla Peak Ground Acceleration di domanda (PGA_D) che è la misura dell'accelerazione indotta al suolo da un terremoto in una specifica area geografica, secondo la relazione seguente:

$$PGA_D = a_g \cdot S_T \cdot S_S$$

dove S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T è il coefficiente di amplificazione topografico. Tali coefficienti sono ricavabili da indagini geologiche eseguite direttamente sul terreno su cui insiste l'edificio, oppure, in assenza di una relazione geologica, possono essere dedotti in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche, secondo quanto prescritto nella NTC 2018 § 3.2.2.

Per valutare l'accelerazione orizzontale massima a_g dell'evento sismico, è necessario fissare la pericolosità sismica, correlandola all'esposizione dell'edificio. La pericolosità riguarda l'area geografica in cui sorge l'edificio ed è definita dall'OPCM 3519, mentre l'esposizione viene considerata laddove le norme definiscono gli edifici strategici e/o rilevanti nell'OPCM 3274 e nella Tabella C.3.2.I. della Circolare del CSLP 7.

In funzione della tipologia edilizia analizzata si definisce il livello di danno accettabile e si determinano per ciascun stato limite, ultimo (SLU) e di esercizio (SLE), le probabilità di superamento dell'evento ed i relativi tempi di ritorno secondo quanto riportato nella tabella seguente.

Stati Limite			Probabilità di superamento P_{VR}	Valori del periodo di ritorno T_R in anni al variare del periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio (SLE)	operatività	SLO	81%	30 anni $\leq T_R = 0,60 \cdot V_R$
	danno	SLD	63%	$T_R = V_R$
Stati Limite Ultimi (SLU)	salvaguardia della vita	SLV	10%	$T_R = 9,50 \cdot V_R$
	collasso	SLC	5%	$T_R = 19,50 \cdot V_R \leq 2475$ anni

Come si vede dalla tabella, le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso del fabbricato, secondo le indicazioni fornite dalla NTC 2018 § 2.4.3. La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni in cui 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 deve essere precisata nei documenti di progetto e comunque per le opere ordinarie viene considerata ≥ 50 anni secondo le indicazioni fornite dalla NTC 2018 § 2.4.1.

Nella pagina seguente, a titolo esemplificativo, si riportano le mappature di pericolosità sismica del territorio italiano valutate rispettivamente allo SLD (con probabilità di superamento del 63% in 50 anni) e allo SLV (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

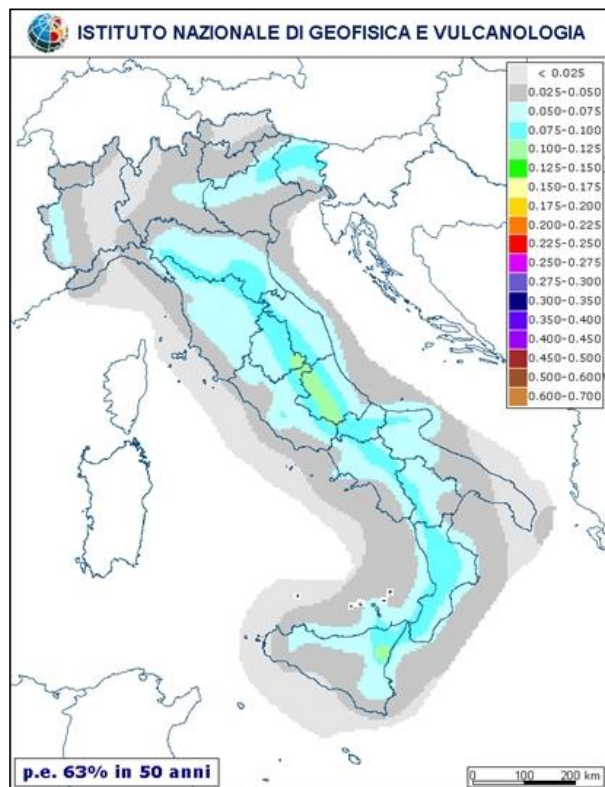


Figura 1 - Mappa della pericolosità sismica del territorio italiano valutata allo SLD.

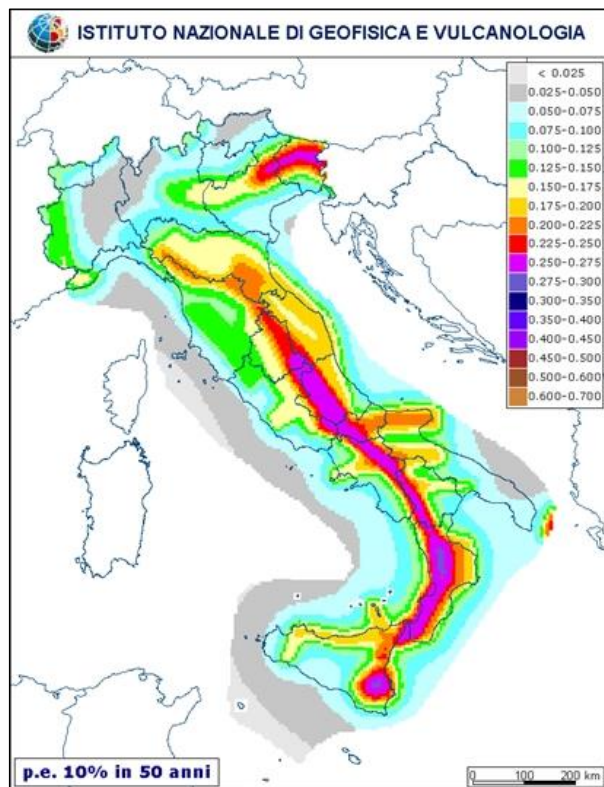


Figura 2 - Mappa della pericolosità sismica del territorio italiano valutata allo SLV.

1.2.1.1. Definizione parametri di domanda

Entrando nello specifico del manufatto oggetto della presente indagine, per la definizione dei parametri di amplificazione stratigrafica (S_s) e topografica (S_T) è stato possibile attingere ai dati forniti dalla "Relazione Geologica - Prospezione sismica M.A.S.W." eseguita dal Dott. Geol. Stefano Bonfoco, redatta per la caratterizzazione della classe categoriale preliminare dei terreni su cui sorge la vicina Scuola Secondaria in via Verdi.

$V_{s,30}$ [m/s]	Categoria di sottosuolo	Categoria topografica	Destinazione d'uso
274	E	T1 Superficie pianeggiante	Scolastico

Definita la Vita nominale della struttura ed eseguite le valutazioni espresse precedentemente si ricavano i dati riportati nella Tabella 1 necessari per determinare i parametri di domanda (Tabella 2) e per costruire degli Spettri di risposta elastica (Figura 3). Nel grafico riportato alla pagina seguente, infatti, per ogni Stato Limite Ultimo e di Esercizio definito dalla normativa è costruito lo spettro di risposta elastica in cui è possibile leggere la corrispettiva accelerazione assegnata al territorio su cui insiste la costruzione.

	V_N	Classe	C_U	V_R	S_s	S_T
Edificio oggetto di analisi	50	III	1.5	75	1.600	1.00

Tabella 1 - Definizione dei parametri di amplificazione e periodo di riferimento.

PARAMETRI SISMICI DI DOMANDA			
Stato limite considerato	Tempo di ritorno	Accelerazione al suolo di picco	Accelerazione al suolo di domanda
	T_R	a_g	PGA_D
	[anni]	[g]	[g]
SLO	45	0.022	0.035
SLD	75	0.028	0.045
SLV	712	0.056	0.090
SLC	1462	0.066	0.106

Tabella 2 - Definizione dei parametri di domanda.

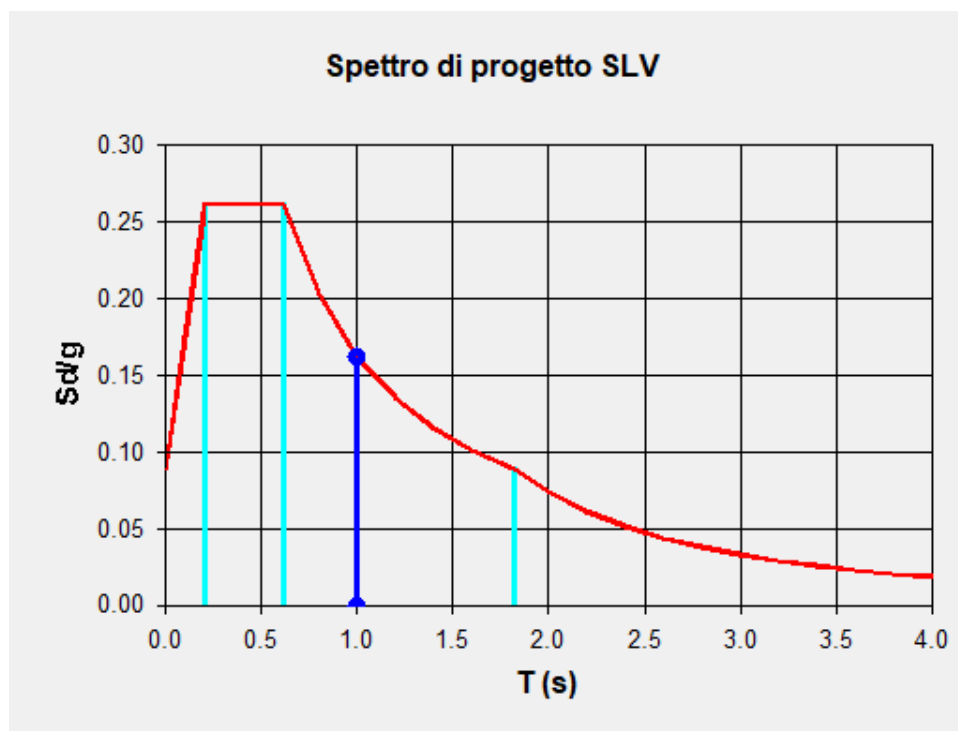


Figura 3 - Spettro di risposta per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita.

2. RILIEVO DELL'EDIFICIO E INDAGINI IN SITU

L'acquisizione dei dati necessari alla modellazione dell'edificio richiede necessariamente il rilievo della vulnerabilità e questa si articola in quattro fasi distinte:

- analisi storico-critica;
- caratterizzazione meccanica dei materiali;
- rilievo geometrico-strutturale;
- determinazione dei livelli di conoscenza e fattori di confidenza.

2.1. Analisi storico-critica

2.1.1. Finalità

Il punto fondamentale per la corretta individuazione del sistema strutturale dell'edificio, del suo stato di sollecitazione e di conservazione, è la ricostruzione dei processi che hanno interessato il manufatto nel corso del tempo: a partire dalla sua costruzione, passando per le modifiche succedutesi e considerando gli eventi eccezionali che lo hanno interessato. Il primo passo per ricostruire questo percorso è la ricerca documentale storico-critica che raccoglie tutte le informazioni propedeutiche alle analisi successive. Quanto più accurata potrà essere tale ricerca – e maggiori saranno le informazioni ricavate – quanto maggiore sarà il livello di conoscenza dell'edificio e minori potranno essere le indagini necessarie per giungere ad un livello di conoscenza comparabile.

Le fonti da considerare per l'acquisizione dei dati necessari, secondo il § 8A.1.B della CSLP 7, sono eventuali documenti di progetto, con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali ed eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione.

A tal fine è stata individuata l'unità strutturale oggetto di studio, evidenziando le azioni che su di essa possono derivare dalle unità strutturali contigue. L'US, in generale, è caratterizzata dalla continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, è delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui strutturalmente ma, almeno tipologicamente, diversi. Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, nel caso di edifici contigui si valutano gli effetti di spinte non contrastate, causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti, meccanismi locali derivanti da prospetti non allineati, US adiacenti di differente altezza.

2.1.2. Cenni storici

Dalla documentazione fornita dalla Committenza non è stato possibile determinare con precisione l'anno di costruzione del fabbricato in muratura oggetto della presente indagine, che tuttavia, è verosimilmente databile all'inizio degli anni '60 come il corpo scolastico principale.

La struttura portante dell'edificio non è stata progettata per resistere ai carichi da sisma previsti dalle vigenti NTC 2018. Il Comune di Orosei (NU) è stato classificato, per la prima volta, in Zona Sismica 4 dall'OPCM n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004. In virtù di quanto sopra esposto e del periodo di edificazione è lecito ritenere che le strutture non siano state realizzate secondo criteri "antisismici" moderni.

Consultando gli archivi dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stato possibile determinare che l'edificio in analisi, a partire dalla sua costruzione nell'arco di 60km, ha subito gli effetti dei seguenti eventi sismici:

Terremoto	Anno	Magnitudo
Tirreno centrale	2001	4

La documentazione fornitaci dalla Committenza non riporta informazioni relative ad eventuali danni subiti dalla struttura come conseguenza degli eventi sismici sopra citati.

2.1.3. Definizione delle Unità Strutturali

Il complesso scolastico in esame risulta inserito nel conglomerato urbano del Comune di Orosei, con accesso dalla via Santa Veronica. Attualmente i locali sono in disuso ma un tempo erano adibiti a mensa della Scuola Primaria.



Foto 1 - Inquadramento dell'edificio nel contesto.

Il complesso è costituito un unico corpo di fabbrica frutto di una unica edificazione e si sviluppa su di un unico livello fuori terra. Attualmente gli ambienti si presentano in disuso, ma un tempo ospitavano la Mensa dell'attigua Scuola Primaria con annessi locali accessori dedicati alla preparazione e/o porzionatura dei pasti, e servizi. La struttura di elevazione è prevalentemente realizzata in setti di muratura di blocchi di pietra dello spessore di circa 50 cm. Gli orizzontamenti si presentano realizzati con tecnologia laterocementizia con sottotetto non ispezionabile. Si stima che la copertura, che si presenta a falda, sia realizzata mediante muricci e tavelloni che poggiano sulla soletta di supporto sottostante. Le osservazioni condotte in situ non hanno permesso di risalire al sistema di fondazione dei fabbricati.

Sulla base degli approfondimenti eseguiti in fase di indagine e a causa dell'assenza di giunti strutturali, l'edificio è stato considerato come un'unica Unità Strutturale, evidenziata nell'immagine sottostante.

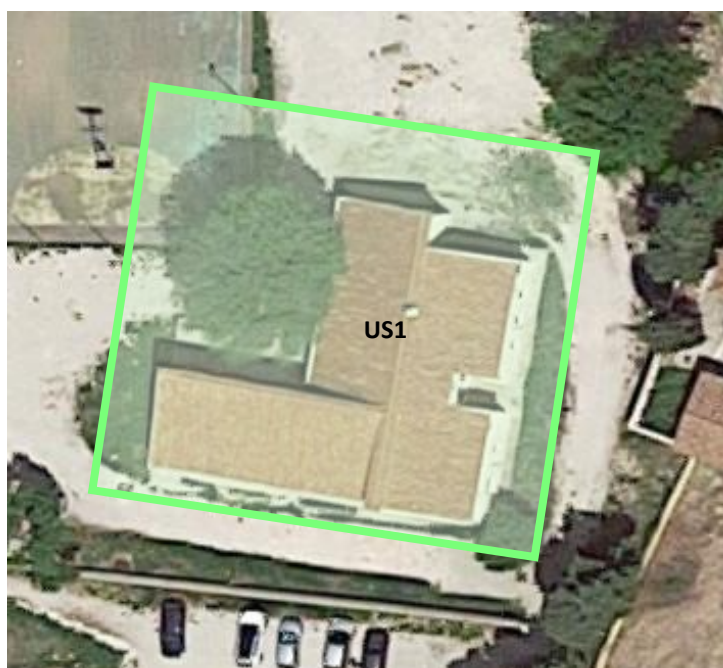


Foto 2 - Suddivisione dell'edificio in Unità Strutturali
(US1 in verde chiaro).

2.2. Caratterizzazione meccanica dei materiali

I materiali vengono caratterizzati a partire dalle informazioni ricavate dall'analisi documentale, successivamente controllate in situ con verifiche visive ed indagini sperimentali basate su prove non distruttive o limitatamente distruttive. Il tipo di indagine ed i punti di esecuzione sono pianificati, in base al loro effettivo uso nelle verifiche e, nel caso di beni culturali e di edifici storici, viene tenuto in considerazione l'impatto in termini di conservazione del bene, limitando il più possibile gli interventi invasivi. Le resistenze meccaniche dei materiali vengono quindi valutate sulla base delle prove effettuate direttamente sulla struttura, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni. Sulla base delle caratteristiche geometriche e strutturali dell'edificio in esame e sulla base del livello di conoscenza da raggiungere richiesto dalla Committenza è stata effettuata la campagna di indagine meglio descritta nell'allegato *Relazione sulle Indagini*.

Nei paragrafi seguenti sono raccolti i risultati delle misure in situ. Negli Elaborati Grafici allegati alla relazione è riportato, per ciascun elemento verticale rilevato, un riepilogo delle caratteristiche geometriche e dei materiali, la schematizzazione della sezione trasversale e una breve documentazione fotografica. Inoltre, nelle tavole di *Report Diagnostico* sono restituite le planimetrie con l'individuazione dei punti di prova.

2.2.1. Strutture in Muratura

Per valutare le **caratteristiche delle murature** si eseguono analisi dirette tramite scarificazione dell'intonaco con valutazioni visive dei paramenti che consentono di individuare gli elementi costituenti, la tramatura ed i livelli di ammassamento tra muri collegati. Altre informazioni sono reperite da documentazione fornita dalla Committenza.

Per determinare lo **spessore delle murature**, senza produrre una ispezione "passante" si impiega un transpointer dotato di due sonde ("ricevitore" e "trasmettitore") che appoggiate sulle due facce dell'elemento da analizzare consente di stimarne lo spessore con la precisione di $\pm 5\%$.

I risultati raccolti permettono così di identificare con maggior precisione i parametri di caratterizzazione meccanica tra quelli proposti dalla NTC 2018. Per quanto riguarda le tipologie di muratura in foratoni e blocchi di calcestruzzo, i parametri si riferiscono a valori reperiti in letteratura (*Resistenza meccanica di blocchi forati a fori orizzontali* - Consorzio POROTON Italia e *Circolare esplicativa 2 febbraio 2009, n. 617*).

Muratura		Descrizione Tipologia Muratura	f_m [N/cm ²]	τ_c [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
1	Pietrame disordinato	Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100-200	1.8-3.2	690-1050	230-350	19
2	Conci sbozzati	Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	200	3.5-5.1	1020-1440	340-480	20
3	Pietre a spacco	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260-380	5.6-7.4	1500-1980	500-660	21
4	Conci irregolari pietra tenera	Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc...)	140-220	2.8-4.2	900-1260	300-420	13-16
5	Conci regolari pietra tenera	Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc...)	200-320	4.0-8.0	1200-1620	400-500	13-16
6	Blocchi lapidei	Muratura a blocchi lapidei squadriati	580-820	9.0-12.0	2400-3300	800-1100	22
7	Mattoni pieni	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	260-430	5.0-13.0	1200-1800	400-600	18
8	Mattoni semipieni	Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia	500-800	8.0-17.0	3500-5600	875-1400	15
9	Foratoni con fori orizzontali	Muratura in foratoni con fori disposti orizzontalmente	100-150	1.9-3.2	900-1200	300-400	11
10	Blocchi di calcestruzzo con foratura tra 45% e 65%	Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150-200	9.5-12.5	1200-1600	300-400	12

2.2.1.1. Unità strutturale 1

In seguito alle osservazioni condotte in situ, mediante le scarifiche murarie, delle caratteristiche costruttive delle murature ed alle prove dirette sulle murature indagate, si riportano, nella successiva tabella, i valori delle resistenze e dei moduli elastici caratterizzanti le differenti tipologie di murature presenti. Come indicazione base si considera quanto indicato nel capitolo C8.5.4.1 della Circolare NTC 2019 ovvero che per un livello di conoscenza LC2 è possibile riferirsi, per le tipologie di murature presenti nella tabella C8.5.I, ai valori medi delle resistenze e dei moduli elastici caratterizzanti le stesse.

Nello specifico tali valori si riferiscono a precise condizioni della muratura, quali: malta di calce di modeste caratteristiche, assenza di ricorsi, paramenti semplicemente accostati o mal collegati, tessitura a regola d'arte, muratura non consolidata. Condizioni differenti a quelle precedentemente riportate conducono all'applicazione di coefficienti maggiorativi o riduttivi definiti in tabella C8.5.II della circolare NTC 2019.

Materiale	Denominazione	E [MPa]	G [MPa]	f_m [MPa]	τ_c [MPa]	γ [kN/m ³]
M1	Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1230	410	2.00	0.043	20

2.3. Rilievo geometrico-strutturale

Per definire le caratteristiche del sistema resistente dell'edificio e quantificare le azioni a cui sono soggette le strutture, non sempre l'analisi documentale fornisce gli elaborati dei progetti architettonici e strutturali completi, pertanto, il rilievo geometrico-strutturale oltre a consentire di verificare accuratamente in situ i dati raccolti; permette di riscontrare le difformità coi progetti depositati, e finalizzare le attività di indagine per completare le informazioni nei casi in cui questi non siano disponibili o carenti.

Il **rilievo geometrico-strutturale** è riferito sia alla geometria complessiva del manufatto che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Negli elaborati vengono rappresentate le modifiche intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica. Il sopralluogo, attraverso l'ausilio di varie strumentazioni, permette inoltre di individuare la membratura resistente del manufatto, tenendo in considerazione la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Per ciascun elemento che compone la struttura portante, indipendentemente dalla sua natura, è quindi necessario risalire accuratamente alle proprie dimensioni in pianta e alla precisa posizione planimetrica. Le misure dimensionali devono tenere conto della sola porzione resistente, al netto quindi dello strato di rivestimento. Tali misure sono indispensabili sia per risalire all'azione orizzontale a cui è soggetto il fabbricato, sia per valutare la quota parte di azione sismica che interessa ciascun elemento strutturale.

Durante i sopralluoghi, per individuare gli elementi che compongono la struttura portante inglobati all'interno di tramezze o pareti perimetrali è risultato particolarmente utile l'ausilio della termografia ad infrarossi che ha consentito di individuare tali elementi grazie alla differenza di temperatura che caratterizza ciascun materiale. Attraverso l'**analisi termografica** sono state inoltre rilevate le tipologie costruttive delle componenti strutturali orizzontali. L'individuazione delle componenti strutturali avviene grazie alla sensibilità di misurazione dello strumento, che permette di distinguere con colorazioni differenti, zone che ammettono temperature superficiali diverse. La termocamera permette di misurare e rappresentare la radiazione infrarossa emessa da un oggetto. La radiazione, quale funzione della temperatura della superficie di un oggetto, emessa dallo strumento permette di calcolare e visualizzare tale temperatura. La radiazione rilevata dalla termocamera non dipende solo dalla temperatura dell'oggetto ma è anche una funzione dell'emissività. L'emissività è una misura che si riferisce alla quantità di radiazione termica emessa dall'oggetto, comparata a quella emessa dal perfetto corpo nero. L'emissività della maggior parte dei materiali da costruzione ha valori compresi tra 0,85 e 0,90. Le caratteristiche tecniche della termocamera ad infrarosso utilizzata sono le seguenti:

- Campo di misura della temperatura da -20 °C a +120 °C
- Frequenza di immagine: 30 Hz
- Sensibilità termica (NETD) 50 mK @ +30°C
- Risoluzione spaziale a 45°: 1,23 mRad
- Sensore: Focal Plane Array (FPA) con microbolometro non raffreddato 640x480 pixel, vanadium oxide.
- Campo spettrale da 7,8 a 14 µm

Per completare la caratterizzazione dei materiali l'integrazione con perforazioni, scarificazioni puntuali e **analisi endoscopiche** ha permesso l'osservazione diretta dei materiali impiegati nei vari elementi. La strumentazione di ispezione è composta da un endoscopio flessibile alla cui estremità è posizionato un obiettivo interscambiabile con visione variabile da 15° in avanti e a retroguardia 135°, con lampadina LED incorporata alimentata da un regolatore di intensità luminosa. L'immagine viene visualizzata dalla telecamera e trasferita al display per la successiva memorizzazione su scheda di memoria. L'analisi delle immagini registrate consente così la ricostruzione della stratigrafia delle strutture, evitando l'esecuzione di demolizioni eccessive.

Le caratteristiche tecniche dell'endoscopio utilizzato sono le seguenti:

- Diametro esterno 5,8 mm
- Luce bianca a LED regolabile
- Regolazione della messa a fuoco
- Direzione di visione panoramica su 360°
- Terminale specchiato per visioni laterali

Definite le componenti geometriche è stato necessario spingersi ulteriormente a fondo con il rilievo, individuando numero, dimensione e disposizione dei ferri di armatura presenti nei pilastri e nei setti in c.a. o nel caso delle murature la tipologia muraria che realizza le pareti portanti.

L'indagine per la localizzazione delle armature nei getti di calcestruzzo è stata eseguita mediante **analisi pacometrica**. Il pacometro digitale basa il suo funzionamento sul fenomeno delle correnti parassite. La posizione dei ferri è determinata muovendo la sonda sulla superficie in esame, fino ad individuare la direzione di massimo assorbimento elettromagnetico che corrisponde all'andamento longitudinale della barra. Tale principio operativo presenta, rispetto ad altri sistemi, una maggiore precisione (± 1 mm) e l'assenza di disturbo dovuto ad umidità ed altri fenomeni chimici o termici. Il principio a induzione di impulsi utilizzato dallo strumento ha un range di funzionamento predefinito. L'accuratezza della misurazione dipende dalle dimensioni dell'armatura e dalla profondità del ricoprimento. Ad integrazione dei rilievi pacometrici sono state eseguite valutazioni a campione al vero delle dimensioni delle armature metalliche da rilevare, previa **scarificazione del copriferro** cementizio e messa a nudo parziale delle armature sia longitudinali che trasversali e successiva misurazione mediante calibro digitale.

Sono stati infine ricercati e rilevati i **dissesti**, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi relativi a potenziali **meccanismi di danno**, così come eventuali vulnerabilità locali di elementi strutturali e non strutturali.

Nei paragrafi successivi, sono riassunte le caratteristiche costruttive delle principali componenti strutturali che costituiscono ciascuna US:

- Strutture orizzontali e coperture;
- Strutture verticali;
- Fondazioni.

2.3.1. Rilievo strutture orizzontali e coperture

I rilievi non distruttivi e le demolizioni localizzate, effettuate in alcuni punti dell'edificio, hanno permesso di identificare le tipologie di solaio e copertura presenti. Le proprietà degli impalcati sono riassunte nei paragrafi seguenti: eventuali variazioni delle dimensioni caratteristiche possono essere legate all'altezza e alla geometria degli elementi costituenti, in relazione principalmente alle luci coperte dai solai. Negli Elaborati Grafici le varie tipologie di solaio sono evidenziate con etichette e, per ciascun tipo, vengono riepilogate le caratteristiche costruttive, l'analisi dei carichi e la schematizzazione della sezione trasversale con le dimensioni relative degli elementi costituenti.

2.3.1.1. Unità strutturale 1

Identificativo	Categoria	Tipologia costruttiva	Capacità di ridistribuzione	Spessore [cm]	Tipologia di carico	Peso [kN/m ²]
COPERTURA A	H	Laterocemento	Copertura rigida	28+5	g ₁	3.50
				Muricci e Tavelloni - Coppi	g ₂	2.30
					q _i	0.50

Per le Unità Strutturali in esame è stato considerato un carico caratteristico da neve, non incluso nelle tabelle sopra riportate, pari a 0.60 kN/m². Considerando l'inclinazione del piano di copertura si introduce un coefficiente di forma pari a 0.80; il valore del carico da neve assunto nelle analisi risulta pertanto pari a 0.48 kN/m².

2.3.2. Rilievo struttura verticale

I paragrafi seguenti raccolgono le informazioni generali degli elementi del sistema sismo-resistente delle Unità Strutturali che compongono l'edificio in esame; le caratteristiche dimensionali, unitamente ai risultati delle misurazioni condotte in situ e dalle prove eseguite in laboratorio, sono raccolte nella *"Relazione sulle Indagini"*.

2.3.2.1. Unità strutturale 1

La struttura di elevazione dell'Unità Strutturale in esame è costituita da setti in muratura di blocchi di pietra dello spessore medio di circa 50 cm.

La nomenclatura degli elementi è corrispondente a quella specificata negli elaborati grafici strutturali allegati.

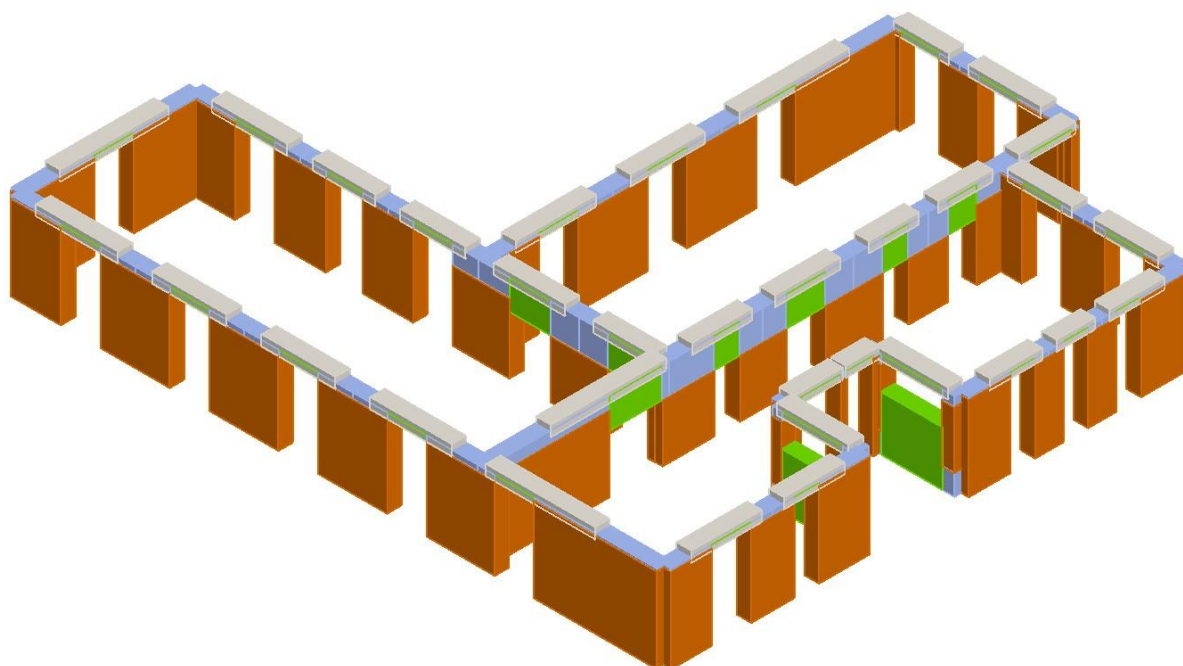


Figura 4 – Osservazione generale del modello globale dell'edificio in esame.

2.3.3. Rilievo delle fondazioni

La valutazione della sicurezza di una costruzione richiede, infine, la verifica del sistema di fondazione. Secondo la normativa vigente (NTC 2018 § 8.3) la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- Nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- Siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- Siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni di progetto.

Le predette condizioni devono essere verificate facendo riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere tali indagini solo qualora siano presenti elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedentemente esposte.

2.3.3.1. Unità strutturale 1

A valle della campagna di indagini è possibile affermare che le Unità Strutturali non ricadono in nessuna delle precedenti condizioni richieste per la verifica del sistema di fondazione, pertanto, ai sensi della Normativa non sono state eseguite prove in situ. L'assenza di documentazione non ha consentito di desumere la tipologia costruttiva dei sistemi di fondazione dell'Unità Strutturale.

2.4. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

La valutazione della sicurezza di un edificio esistente, rispetto a quello di un edificio di nuova progettazione, è normalmente affetta da un grado di incertezza diverso. L'impossibilità di risalire o di determinare in situ le effettive caratteristiche meccaniche di tutti i materiali utilizzati porta con sé un valore di incertezza di cui è necessario tenere conto nei calcoli di verifica.

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle tre fasi conoscitive sopra riportate, vengono individuati i **livelli di conoscenza** (LC) dei diversi parametri coinvolti nel modello: *geometria*, *dettagli costruttivi* e *materiali*; possono così essere definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza in modo tale da tenere conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

Pertanto, nel caso di edifici esistenti si fa riferimento ai **fattori di confidenza** (FC) che variano a seconda del livello di conoscenza sulla struttura raggiunto, mediante le indagini in situ.

I fattori di confidenza hanno principalmente lo scopo di diminuire la resistenza dei materiali ottenuta dalle prove in situ e in alcuni casi di incrementare le sollecitazioni di verifica da applicare alla struttura.

	Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli Strutturali	Proprietà dei Materiali	Metodi di Analisi	Fattore di Confidenza
Limitata	LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
Adeguate	LC2		Disegni costruttivi incompleti + limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali + limitate oppure estese prove in-situ	Tutti	1,20
Accurata	LC3		Disegni costruttivi completi + limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali + estese oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1,00

Per l'edificio in esame, grazie al rilievo in situ si è ottenuta una conoscenza adeguata della geometria di elementi strutturali principali (muratura, pilastri, setti e travi) e secondari (solai e coperture), per i dettagli costruttivi e le armature delle sezioni è stata raggiunta una conoscenza sufficientemente estesa sia negli elementi strutturali principali che in quelli secondari. Per il comportamento delle strutture murarie, il parametro geometrico è fondamentale al fine della valutazione della prestazione sismica.

Il livello di conoscenza risulta essere pertanto classificabile come **Livello di Conoscenza LC2**: ciò comporta la possibilità di condurre le verifiche di sicurezza adottando un fattore di confidenza **$F_c = 1,20$** almeno a livello di verifica preliminare.

In fase di modellazione del comportamento dei materiali vengono assunti, dove opportuno, i coefficienti di sicurezza parziali, che riducono le proprietà dei materiali conformemente alle NTC18 e relativa Circolare Esplicativa.

2.4.1.1. Unità strutturale 1

Di seguito si riassumono, in forma tabellare, i fattori di confidenza e i coefficienti di sicurezza adottati per determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali individuati in situ. Per tutte le tipologie di muratura sono stati assunti i valori medi di f_m e τ_0 fra quelli riportati in Tabella C8.5.I della Circolare NTC18.

VERIFICA ANALISI NON LINEARI - MURATURA						
Materiale	f_m [MPa]	FATTORE DI CONFIDENZA	$f_{m,progetto}$ [MPa]	τ_c [MPa]	FATTORE DI CONFIDENZA	$\tau_{c,progetto}$ [MPa]
M1	2.00	1.20	1.67	0.043	1.20	0.036

VERIFICA STATICA - MURATURA				
Materiale	f_m [MPa]	FATTORE DI CONFIDENZA	COEFFICIENTE DI SICUREZZA	$f_{m,progetto}$ [MPa]
M1	2.00	1.20	3.00	0.56

3. DESCRIZIONE DEL METODO DI ANALISI E DEL MODELLO

La valutazione della sicurezza strutturale nei confronti dell'azione sismica richiede la modellazione del sistema sismo-resistente che compone l'edificio e l'utilizzo di un metodo di analisi che permette di calcolare l'azione sismica agente sulla struttura in esame.

3.1. Metodo di analisi

3.1.1. Metodo di analisi per strutture in muratura

Per l'analisi delle strutture in muratura si adottano i seguenti metodi:

- **Metodo dell'analisi cinematica lineare con fattore di struttura $q = 2,0$** per la verifica del comportamento delle pareti murarie sollecitate fuori piano;
- **Metodo dell'analisi statica non lineare *pushover*** per la valutazione del comportamento d'insieme;

L'instaurarsi di un meccanismo globale, negli edifici in muratura portante, è generalmente possibile qualora siano inibiti i cinatismi locali, quali tipicamente quelli di ribaltamento fuori piano delle singole pareti: ciò è possibile in presenza di diaframmi rigidi, resistenti ed efficacemente collegati alle pareti (tramite connessioni meccaniche), in presenza di setti murari perpendicolari ben ammortati tra loro, o in presenza di cordoli efficacemente ammortati alle pareti. Il caso di cordoli o diaframmi inseriti in breccia nelle pareti, anche con connessioni a coda di rondine, costituisce una criticità e non una risorsa sismica.

L'analisi cinematica locale, o analisi limite dell'equilibrio secondo l'approccio cinematico, si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e sulla valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematismo.

Per lo sviluppo delle analisi *pushover*, finalizzate alla valutazione del comportamento d'insieme, ci si è attenuti alle specifiche istruzioni espresse da NTC18 e dalla Circolare 7 per lo studio delle strutture esistenti.

L'analisi non lineare statica è condotta attraverso:

- modello FEM non lineare con elementi finiti a 2 nodi e 6GdL per nodo dotati di cerniere a plasticità concentrata (duttile o fragile) definite usando i valori delle proprietà meccaniche dei materiali indicate in §2;
- due gruppi di forze sismiche per direzione orizzontale ($\pm X$ e $\pm Y$): distribuzione di sollecitazioni da "Gruppo 1" (distribuzione di accelerazioni proporzionali alle forze statiche equivalenti per la direzione considerata); distribuzione di sollecitazioni da "Gruppo 2" (distribuzione di sollecitazioni proporzionale alla massa). In totale vengono eseguite 24 analisi per tener conto delle due direzioni del sisma e delle eccentricità accidentali previste dalla normativa;
- equilibrio calcolato, ad ogni step d'analisi, sulla configurazione indeformata (ipotesi di piccoli spostamenti).

Le verifiche da effettuare nel caso di analisi *pushover* consistono nel comparare la capacità di spostamento della struttura, ottenuta attraverso cerniere plastiche o elasto-fragili dalla resistenza sezionale ottenuta a partire dai valori caratteristici di resistenza dei materiali divisi per il fattore di confidenza FC (e eventualmente per il coefficiente parziale di sicurezza sui materiali per meccanismi fragili), confrontata con la domanda di spostamento strutturale che viene valutata attraverso lo spettro di risposta: si passa da uno spettro elastico ad uno ADRS dove l'accelerazione non è più funzione del periodo proprio della struttura, ma dello spostamento. La verifica è quindi condotta secondo:

$$d_{max}^* / d_u^* < 1.$$

Si deve verificare inoltre che il rapporto tra il taglio totale agente sulla base del sistema equivalente ad un grado di libertà calcolato dallo spettro di risposta elastico e il taglio alla base resistente del sistema equivalente ad un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare risulti inferiore a 3,0 (§7.8.1.6).

$$q^* = S_e(T^* m^*) / F_y^* < 3$$

Per la definizione delle cerniere a plasticità concentrata del modello FEM non-lineare, quindi per l'esecuzione delle verifiche di sicurezza allo SLV, si è fatto riferimento ai modelli di capacità assimilabili a quelli rappresentati nella figura seguente:

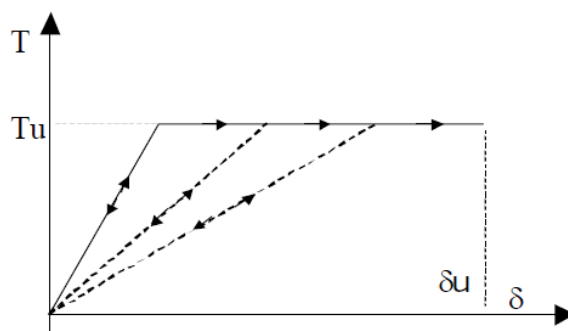


Figura 5 - Legame elasto-plastico definito per le cerniere plastiche.

Il grafico è in grado di rappresentare il fenomeno fisico che si sviluppa all'interno del singolo elemento durante l'incremento della sollecitazione di taglio, associata sia al meccanismo di rottura per pressoflessione sia al meccanismo di rottura per taglio. Le caratteristiche relative all'elemento trave in muratura, che ne influenzano il comportamento non lineare, possono essere sintetizzate in:

- Rigidezza iniziale secondo le caratteristiche elastiche (fessurate) del materiale, determinata direttamente a partire dal calcolo dei contributi di rigidezza a taglio e flessionale, computabili sulla base delle proprietà meccaniche e geometriche (modulo elastico di Young E, modulo di taglio G e geometria del pannello);
- Comportamento bilineare con valori massimi di taglio e momento coerenti con i valori di stato limite ultimo;
- Redistribuzione delle sollecitazioni interne all'elemento tali da garantire l'equilibrio;
- Settaggio dello stato di danno secondo i parametri globali e locali;
- Degradazione della rigidezza nel ramo plastico;
- Controllo di duttilità mediante la definizione di drift massimo differenziato secondo quanto previsto nelle normative vigenti a seconda del meccanismo di danneggiamento agente sul pannello. Si assume uno spostamento ultimo per azioni nel piano di ciascun pannello pari a:
 - 0.5% dell'altezza del pannello, nel caso di rottura per taglio;
 - 1.0% dell'altezza del pannello, nel caso di rottura per presso-flessione.
- Eliminazione dell'elemento (ossia l'elemento è in grado di garantire un contributo all'equilibrio esclusivamente per i contributi associati al suo peso proprio), al raggiungimento dello s.l.u. senza interruzione dell'analisi.

Tale formulazione è adottata sia per i maschi murari che per le fasce di piano. Si precisa, inoltre, che il contributo di resistenza e di rigidezza nel fuori piano è trascurato.

I legami utilizzati per caratterizzare il comportamento delle cerniere plastiche sono:

- Per il meccanismo di taglio quello rappresentato in Figura 6 e caratterizzato dai punti indicati in Tabella 3;

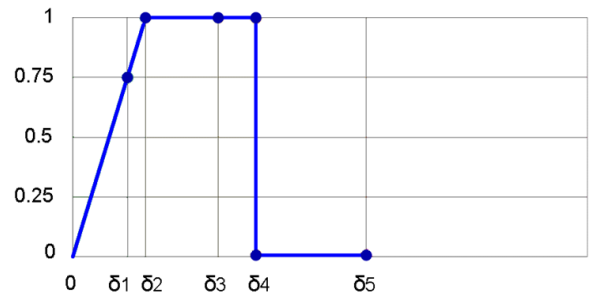


Figura 6 – Caratterizzazione cerniera a taglio elementi in muratura.

Tabella 3 – Descrizione legame rappresentato in Figura 6.

Tratto	Descrizione
0 - δ_1	Elasticità
δ_1 - δ_2	Incipiente di plasticità
δ_2 - δ_3	Plastico per taglio
δ_3 - δ_4	Incipiente rottura per taglio
δ_4 - δ_5	Rottura per taglio
δ_5 - ∞	Crisi grave

- Per il meccanismo di pressoflessione quello rappresentato in Figura 7 e caratterizzato dai punti indicati in Tabella 4;

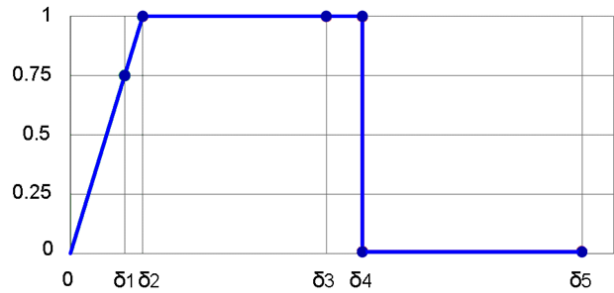


Figura 7 – Caratterizzazione cerniera a pressoflessione elementi in muratura.

Tabella 4 – Descrizione legame rappresentato in Figura 7.

Tratto	Descrizione
0 - δ_1	Elasticità
δ_1 - δ_2	Incipiente di plasticità
δ_2 - δ_3	Plastico per pressoflessione
δ_3 - δ_4	Incipiente rottura per pressoflessione
δ_4 - δ_5	Rottura per pressoflessione
δ_5 - ∞	Crisi grave

Per la definizione delle cerniere a plasticità concentrata degli elementi in calcestruzzo armato del modello FEM non lineare, si fa riferimento ad un comportamento bilineare con resistenza limitata e comportamento elastico-perfettamente plastico con pendenza durante i cicli di scarico invariata rispetto a quella iniziale. Inoltre, si considerano come meccanismi resistenti duttili e fragili rispettivamente quelli associati ai meccanismi di flessione e di taglio.

Ciascuna verifica, la cui "domanda sismica" (richiesta di spostamento o di resistenza – attraverso il fattore "q*"), risulti maggiore della "capacità sismica" (capacità di spostamento o di resistenza – attraverso il fattore "q*"), si ritiene non soddisfatta. Per le verifiche non soddisfatte il grado di criticità sarà definito sulla base di un coefficiente di sicurezza ζ_E , dato dal rapporto tra capacità e relativa richiesta. Le verifiche non soddisfatte sono caratterizzate da valori di ζ_E inferiori all'unità.

In genere, per strutture esistenti, è considerato accettabile un indice di sicurezza ζ_E minimo superiore a 0.60 (poiché $\zeta_E = 0.60$ è il livello prestazionale minimo previsto dalle NTC18 a seguito di interventi di miglioramento per edifici in classe d'uso III a destinazione scolastica e edifici in classe d'uso IV).

Gli spettri di progetto elastici, in accelerazione e spostamento necessari in analisi push-over (nelle quali il fattore di struttura q^* è parte del risultato dell'analisi) impiegati per le verifiche sono illustrati di seguito:

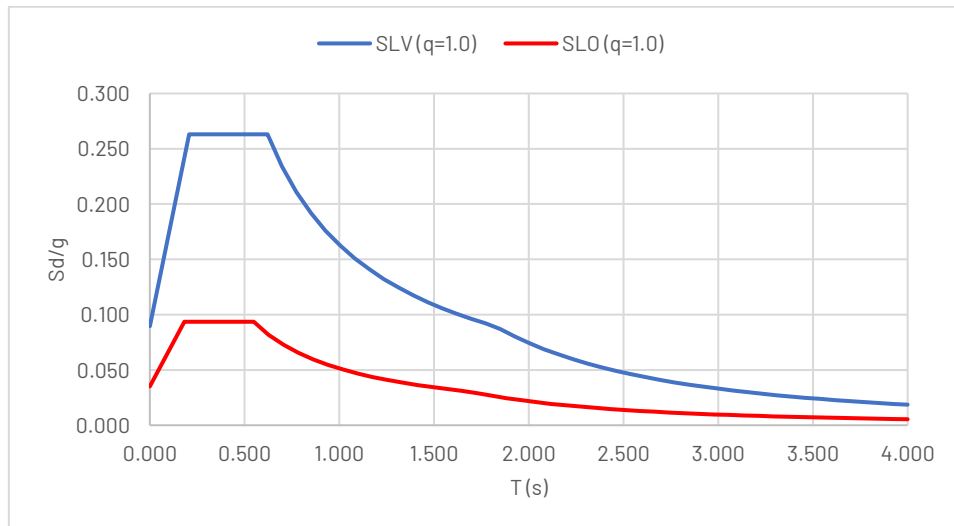


Figura 8 - Spettri di risposta di progetto

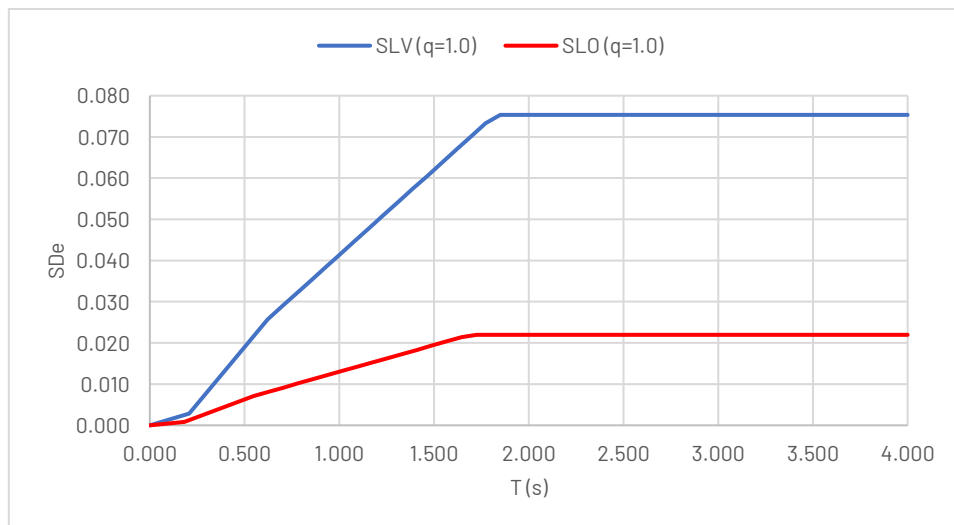


Figura 9 - Spettri di spostamento di progetto

3.2. Modellazione della struttura

3.2.1. Modellazione delle strutture in muratura (US1)

Per eseguire le verifiche di sicurezza le Unità Strutturali realizzate in muratura sono state modellate sulla base delle seguenti considerazioni attraverso un modello a telaio equivalente:

- Le pareti sono schematizzate come telai costituiti da elementi ad asse verticale (maschi murari) ed elementi ad asse orizzontale (architravi e fasce di piano). La schematizzazione determina la suddivisione degli elementi che costituiscono il telaio in porzioni indeformabili, in corrispondenza delle intersezioni tra maschi murari e fasce, e porzioni deformabili altrove;
- Gli elementi sono implementati come "macroelementi" bidimensionali a due nodi, assimilabili a travi a 6 gradi di libertà;
- Gli orizzontamenti sono inseriti solamente in termini di massa, senza modellare direttamente i travetti, che avrebbero generato dispersione modale. I carichi dei solai sono distribuiti in corrispondenza delle travi di competenza e/o cordoli che caricano direttamente i maschi murari;
- La struttura tridimensionale si ottiene dall'assemblaggio dei diversi telai piani connessi mediante diaframmi nel piano orizzontale posti alla quota degli orizzontamenti, la cui rigidezza è valutata in funzione della stratigrafia. Gli orizzontamenti sono infatti definiti come elementi finiti planari con comportamento membranale anisotropo, per tener conto della diversa rigidezza nelle due direzioni principali;
- Le sezioni e gli spessori degli elementi strutturali sono stati definiti sulla base dei documenti progettuali forniti dalla Committenza e delle indagini diagnostiche eseguite direttamente in situ;
- Lo zero sismico è posto a livello del piano di campagna.

3.3. Vincoli esterni

Il processo di modellazione comprende anche la scelta della tipologia di vincolo da applicare al modello matematico, al fine di restituire risultati il più possibile coerenti con la realtà. In relazione a ciò, l'introduzione di incastri rigidi alla base della struttura, escludendo il processo di modellazione delle fondazioni e l'interazione suolo-struttura, rappresenta una scelta tendenzialmente conservativa nel quantificare le azioni sollecitanti.

3.3.1. Vincoli esterni per le strutture

Gli elementi verticali sono stati vincolati a terra mediante incastri posizionati alla base degli elementi stessi, in corrispondenza del livello delle fondazioni e/o del piano di campagna.

Di seguito si riportano la Mesh che rappresenta la suddivisione in "macroelementi": in marrone i maschi, in verde le fasce, in azzurro i nodi rigidi e in grigio gli elementi in c.a. (3Muri)

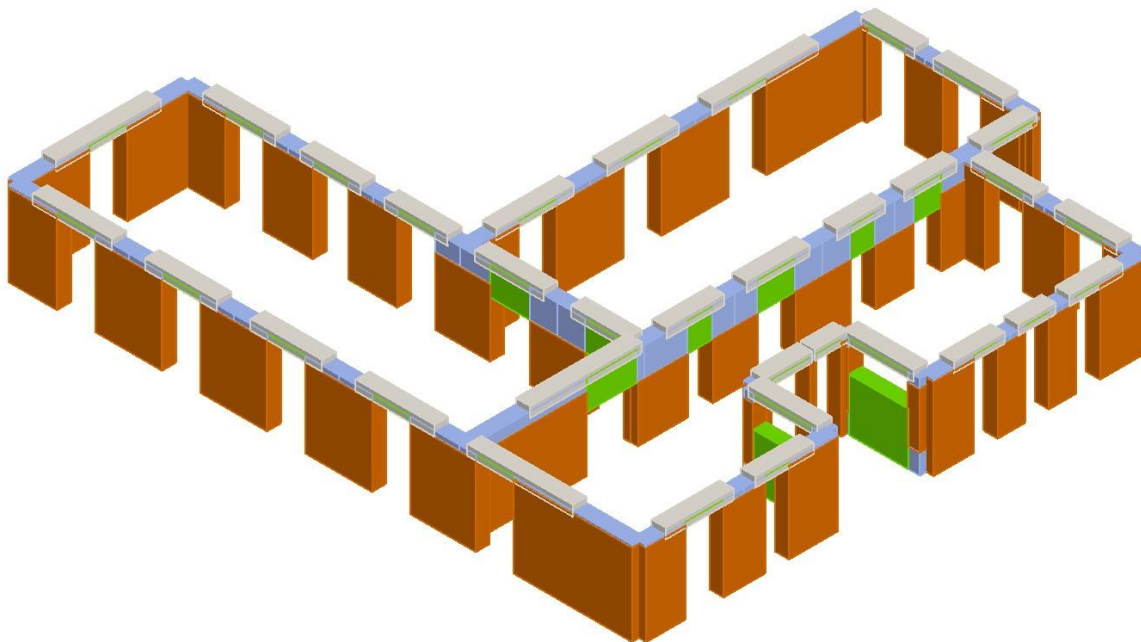


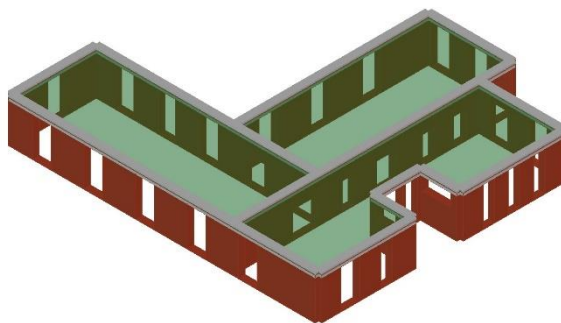
Figura 10 - Mesh che rappresenta la suddivisione in "macroelementi": in marrone i maschi, in verde le fasce, in azzurro i nodi rigidi e in grigio gli elementi in c.a. (3Muri)

3.4. Diaframmi di piano

Dallo studio degli orizzontamenti del manufatto si ipotizza la presenza di un diaframma di piano, la cui rigidezza è valutata in funzione della stratigrafia. Gli orizzontamenti sono infatti definiti come elementi finiti planari con comportamento membranale anisotropo, per tener conto della diversa rigidezza nelle due direzioni principali.

3.4.1. Unità strutturale 1

Nome diaframma di piano	Livello [m]	Massa partecipante [t]
Roof	3.20	-
1F	0.00	-
Somma		397.06



3.5. Carichi e masse

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni delle NTC 2018, in particolare, per quanto riguarda le verifiche, si prenderanno come riferimento i risultati ai soli Stati Limite Ultimi.

Nello specifico, valgono le seguenti combinazioni:

- a) **Combinazione fondamentale**, impiegata per le verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot G_{k1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

- b) **Combinazione caratteristica**, cosiddetta rara, impiegata per le verifiche di sicurezza agli stati limite di esercizio (SLE):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

- c) **Combinazione sismica**, impiegata per le verifiche di sicurezza sia agli stati limite di esercizio (SLO e SLD) sia agli stati limite ultimi (SLV e SLC) specificatamente definiti per l'azione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{i=1}^n \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

dove:

- L'azione elementare E rappresenta gli effetti dell'azione sismica, che vanno calcolati per ciascuno degli stati limite di riferimento specificatamente definiti per l'azione sismica;
- I termini γ sono coefficienti parziali di sicurezza (definiti in accordo a quanto riportato dalle NTC 2018 § 2.6.1 – Tab. 2.6.I);
- I termini ψ sono coefficienti di combinazione (definiti in accordo a quanto riportato dalle NTC 2018 § 2.5.2 – Tab. 2.5.I).

Per chiarezza si riportano le tabelle dei coefficienti parziali e di combinazione utilizzati nelle verifiche della presente trattazione:

COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA				
		Coefficiente γ_F	EQU	A1
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3
Carichi permanenti non strutturali G_2	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE		
	Ψ_0	Ψ_2
Categoria H	0,0	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,0

4. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STATICA

La verifica della sicurezza di una struttura è volta a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con un livello di sicurezza minimo. Tale valutazione deve permettere di stabilire se:

- L'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- L'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- Sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

La valutazione della sicurezza di costruzioni esistenti può essere eseguita, come specificato nelle NTC 2018 § 8.3, prendendo in analisi i soli carichi verticali e le combinazioni di carico che riguardano esclusivamente lo Stato Limite Ultimo. La combinazione dei carichi considerata è quella fondamentale, così come proposta nelle NTC 2018 e già esplicitata al capitolo 3.5 della presente trattazione. Ai sensi delle NTC 2018 § 8.3, si specifica che è necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.

Per la valutazione della sicurezza statica degli elementi strutturali sono state introdotte alcune ipotesi e considerazioni di base per uniformare la lettura dei risultati:

- Per le **strutture con sistema resistente realizzato in muratura**, si considera una verifica a pressoflessione per carichi laterali (NTC18 § 4.5.6.2) considerando, un coefficiente di riduzione di resistenza dei materiali ϕ in funzione delle eccentricità derivanti dai carichi agenti, di esecuzione e la corretta snellezza convenzionale λ . In alcuni casi viene calcolato, in prima istanza, un coefficiente di riduzione di resistenza dei materiali ϕ ponendo il coefficiente di eccentricità m unitario ed un valore di snellezza convenzionale λ non dipendente dal vincolo fornito dalle murature ortogonali a quella in verifica (ipotesi cautelativa di maschi isolati), affinando il calcolo per valori di ζ_y inferiori all'unità. Infine, si esprime la valutazione dei coefficienti parziali di sicurezza derivanti dalla verifica a pressoflessione per carichi laterali, andando ad evidenziare le effettive criticità statiche primarie per valori di $\gamma_m < 3$.

Si rimanda alle planimetrie del *Rilievo geometrico-strutturale* per la localizzazione degli elementi strutturali secondo la nomenclatura riportata nelle verifiche sottostanti.

4.1. Strutture in Muratura

4.1.1. Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU)

Di seguito si riportano i risultati, suddivisi per Unità Strutturale, della verifica a presso-flessione per carichi verticali di tutti gli elementi strutturali verticali in condizione di Stato Limite Ultimo.

4.1.1.1. Unità strutturale 1

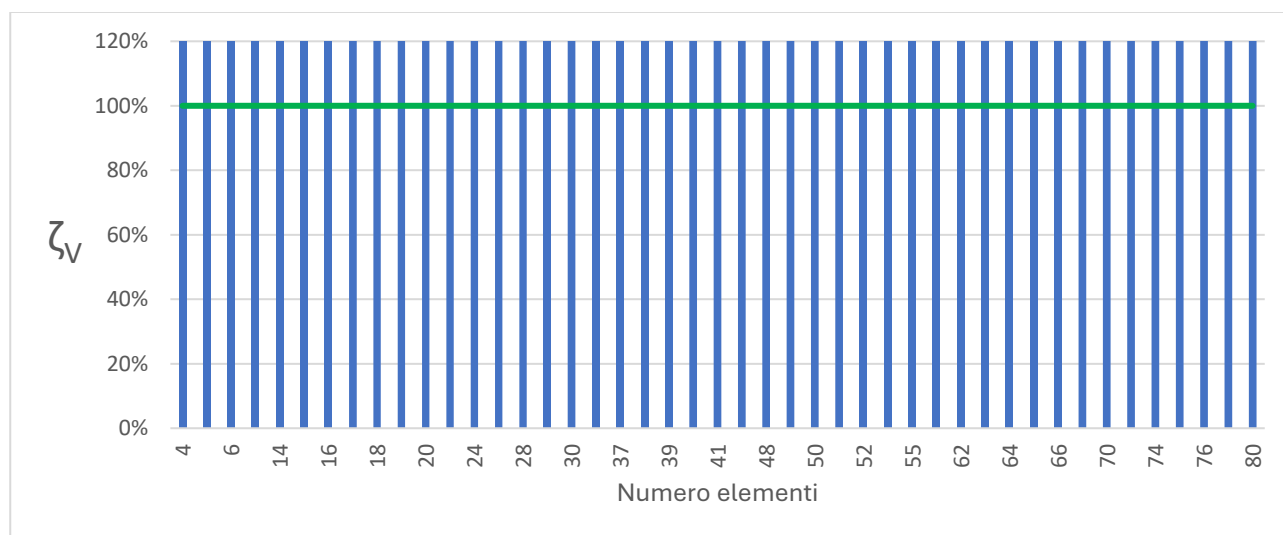


Figura 11 - Verifica a presso-flessione SLU degli elementi verticali - Maschi murari - Muratura M1 in azzurro.

Dalla verifica di sicurezza statica e dai grafici sopra riportati è possibile concludere che, in condizione SLU, **tutti gli elementi verticali soddisfano le verifiche.**

5. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

L'indice di sicurezza sismica ζ_E della struttura è definito come il rapporto tra l'azione sismica corrispondente al raggiungimento della capacità della struttura e la domanda sismica **allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita**. In caso di calcolo mediante analisi statica, la vulnerabilità sismica può essere calcolata come il rapporto tra resistenza ultima T_{Ri} e le sollecitazioni T_{Si} per ciascuna sottostruttura i -esima, il valore di vulnerabilità sismica da attribuire all'intera struttura è il minimo tra tutti quelli ottenuti su ciascuna sottostruttura: la vulnerabilità è dunque determinata dalla prima sottostruttura che raggiunge lo stato limite ultimo.

$$\zeta_E = \min \left\{ \frac{T_{Ri}}{T_{Si}} \right\}$$

Se si ottiene un indice di vulnerabilità inferiore all'unità la struttura non ha resistenza sufficiente a far fronte ad un evento sismico con intensità fissata dalle norme; la carenza rispetto all'unità rappresenta il suo grado di inadeguatezza.

Pertanto, una volta determinata la sollecitazione che porta al raggiungimento dello stato limite ultimo (SLV) della prima sottostruttura, è possibile determinare l'accelerazione $PGA_d(SLV)$ che genera tale sollecitazione, per ciascuna direzione principale e tenuto conto del fattore di struttura. Rappresentando su un diagramma cartesiano in ascissa la accelerazione PGA ed in ordinata la vulnerabilità V , il valore $PGA_d(SLV)$ rappresenta il limite oltre il quale le verifiche di vulnerabilità vengono soddisfatte e quindi l'Unità Strutturale considerata risulta sicura. La combinazione dei carichi considerata è quella quasi permanente e i tassi di lavoro dei materiali quelli indicati nel paragrafo 2.4 della presente trattazione.

La normativa attualmente vigente (NTC 2018) richiede una diversa metodologia di verifica in funzione della tipologia strutturale dell'edificio in questione, pertanto, nei paragrafi seguenti verranno presentate le seguenti metodologie di valutazione della sicurezza sismica:

- Verifica sismica dei meccanismi locali fuori piano;
- Verifica sismica globale con metodo push-over.

5.1. Analisi modale

Per effettuare un primo controllo della "bontà" dei modelli numerici, nonché per determinare i modi propri di vibrare, è stata svolta un'analisi agli autovalori (eigenvalue). Nelle seguenti tabelle vengono riportati i modi di vibrare caratterizzati da una massa modale superiore al 5%, suddivisi per Unità Strutturale, evidenziando quelli che possiedono la maggior massa partecipante nelle due direzioni principali. Infine, per ogni Unità Strutturale, vengono riportate le deformate modali dei due modi principali.

5.1.1. Unità strutturale 1

Tabella 5 - Forme modali principali – US1.

Modo	Periodo [s]	Traslazione X		Traslazione Y		Rotazione Z	
		Massa [%]	Somma [%]	Massa [%]	Somma [%]	Massa [%]	Somma [%]
1	0.185	54.860	54.860	0.090	0.090	0.010	0.010
2	0.134	9.560	64.420	79.000	79.090	0.000	0.010
3	0.127	34.700	99.120	19.030	98.120	0.000	0.010
...
6	0.048	0.010	99.320	0.170	99.090	5.250	10.090
...
8	0.046	0.000	99.540	0.100	99.200	9.440	20.280
...
12	0.043	0.030	99.740	0.070	99.760	16.560	40.890
...
14	0.042	0.000	99.740	0.070	99.900	8.430	53.010
15	0.041	0.010	99.750	0.010	99.910	10.270	63.280
...
19	0.039	0.000	99.850	0.000	99.920	13.470	81.240
...
21	0.038	0.000	99.850	0.000	99.920	6.200	88.500
...
76	0.003	0.000	99.970	0.000	99.960	0.000	99.960

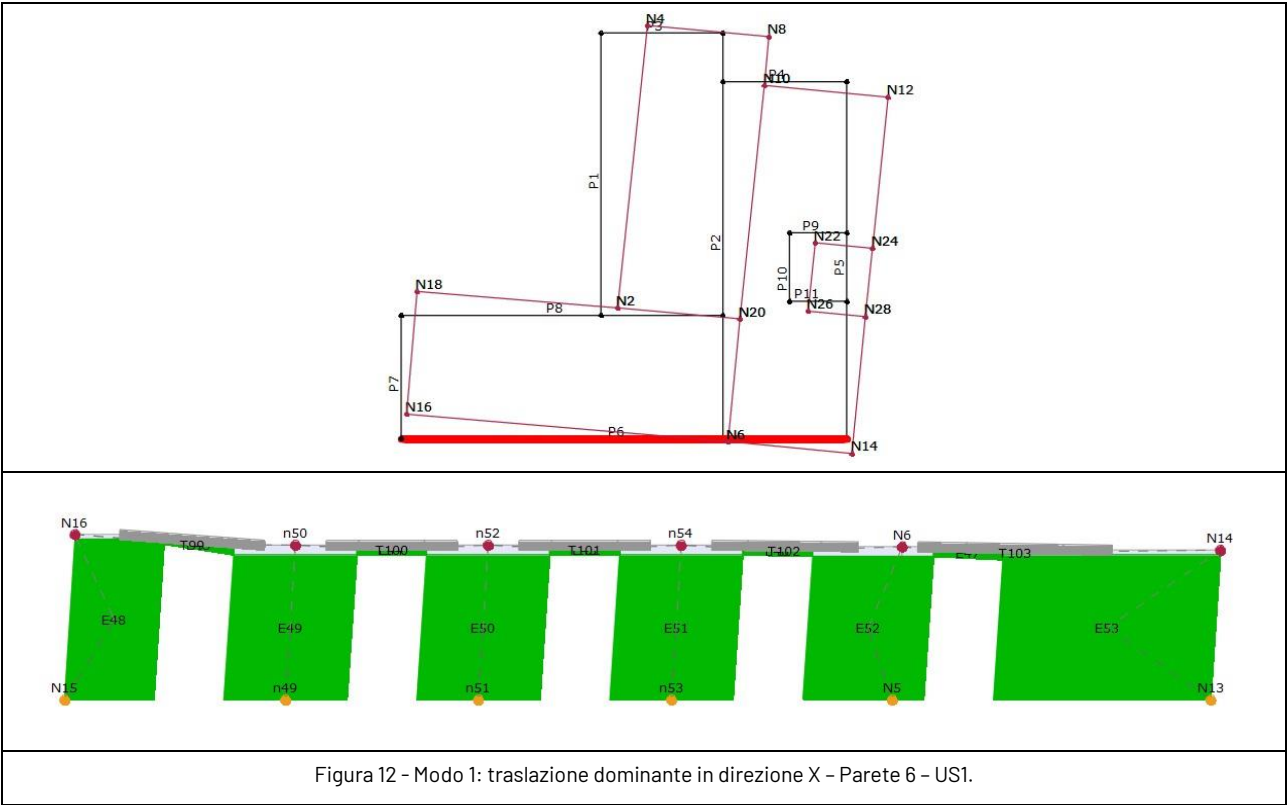
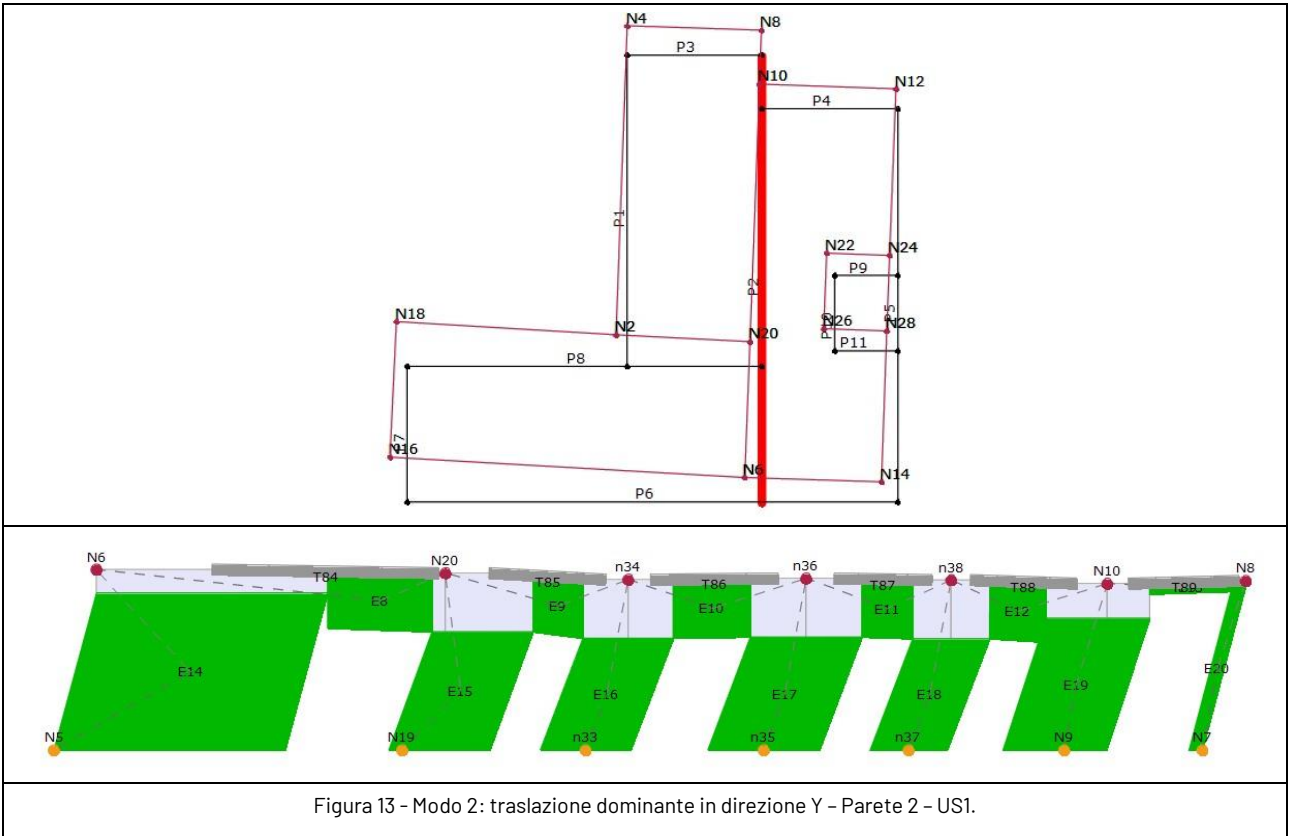


Figura 12 - Modo 1: traslazione dominante in direzione X – Parete 6 – US1.



5.2. Verifica sismica dei meccanismi locali fuori piano

Le verifiche dei meccanismi locali fuori piano delle Unità Strutturali realizzate in muratura sono state condotte mediante il metodo dell'analisi limite dell'equilibrio secondo l'approccio cinematico. Tale metodo è basato sulla scelta del meccanismo di collasso più probabile e sulla valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematico, come prescritto nella Circolare NTC 2019 § C8.7.1.2.

Il livello di sicurezza dei meccanismi locali fuori piano nei confronti dell'azione sismica è valutato sulla base della seguente formula:

$$\zeta_E = \frac{\textit{Accelerazione sismica spettrale massima sopportabile}}{\textit{Accelerazione sismica spettrale massima di progetto di una nuova costruzione}}$$

Dove:

- L'azione sismica massima sopportabile è calcolata in termini di accelerazione sismica spettrale a_0^* che attiva il meccanismo con il metodo dell'analisi limite (definita in accordo a quanto riportato dalla Circolare NTC 2019 § C8.7.1.2.1.2);
- L'azione massima di progetto di una nuova costruzione è definita in termini di accelerazione per elementi che poggiano direttamente a terra o posti ad una determinata quota da terra (definita in accordo a quanto riportato dalla Circolare NTC 2019 § C8.7.1.2.1.2).

Per il calcolo delle azioni sollecitanti si adotta un fattore di struttura pari a **q = 2,0**.

5.2.1 Unità strutturale 1

Sulla base delle caratteristiche morfologiche dell'Unità Strutturale e dello studio dei dettagli costruttivi si ritiene difficile il collasso dell'edificio ad opera dei meccanismi di cinatismi locali. Tuttavia, si è provveduto ad eseguire la simulazione per il ribaltamento semplice e la flessione fuori piano delle pareti. Si riportano qui di seguito i casi maggiormente significativi.

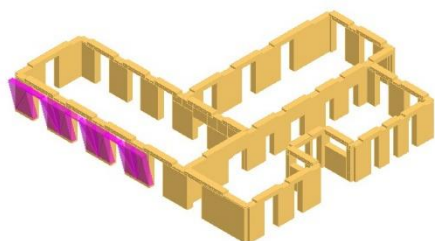


Foto 3 – Ribaltamento semplice parete P6.

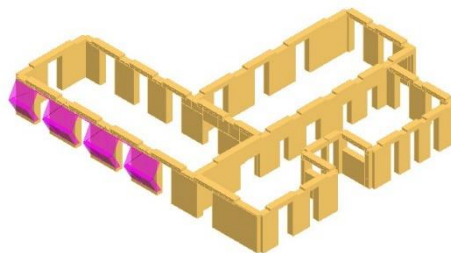


Foto 4 – Flessione fuori piano parete P1.

Fronte analizzato	Meccanismo di collasso	Piani coinvolti	Azione sismica di riferimento (g)	Azione sismica massima sopportabile (g)	Livello di Sicurezza	Verifica
					ζ_E	
Parete 6	Ribaltamento semplice	Terra	0,056	0,118	>1	OK
Parete 6	Flessione fuori piano	Terra	0,056	1,274	>1	OK

5.3. Verifica sismica con metodo push-over e telai equivalenti

La verifica globale delle Unità Strutturali realizzate in muratura è stata condotta mediante un'analisi statica non lineare di tipo push-over. Tale metodo ha lo scopo di studiare il comportamento della struttura fino al suo collasso, valutando il progressivo danneggiamento degli elementi strutturali e la redistribuzione delle azioni sugli elementi stessi all'aumentare dell'azione sismica sollecitante. L'analisi push-over permette di determinare, mediante la curva di capacità della struttura, la massima azione sismica, corrispondente al taglio alla base, e la massima capacità di spostamento del sistema. Generalmente, le accelerazioni di attivazione dei meccanismi locali risultano inferiori rispetto a quelle di attivazione dei meccanismi globali.

La modellazione della struttura per la verifica globale con metodo push-over, inoltre, considera efficaci (rigidi, resistenti e collegati meccanicamente alle pareti) i diaframmi di piano degli orizzontamenti.

L'analisi statica non lineare è applicabile secondo le modalità descritte nelle NTC 2018 § 7.3.4.2, considerando una distribuzione dell'azione sismica proporzionale ai modi di vibrare principali, già descritti e illustrati al paragrafo 3.1 della presente trattazione.

Il livello di sicurezza globale nei confronti dell'azione sismica è valutato sulla base della seguente formula:

$$\zeta_E = \frac{\text{Spostamento sismico massimo sopportabile}}{\text{Spostamento sismico massimo di progetto di una nuova costruzione}}$$

La verifica di sicurezza consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento:

Dove:

- La capacità di spostamento è ottenuta dalle curve di capacità risultanti dall'analisi statica non lineare in accordo a quanto riportato dalla Circolare NTC 2019 § C7.3.4.2.
- La domanda di spostamento è definita in accordo a quanto riportato dalle NTC 2018 § 7.3.4.2 e 7.8.1.6.

L'analisi statica non lineare richiede almeno 8 analisi di tipo push-over considerando l'azione sismica agente nelle due direzioni principali dell'edificio (X/Y) e nei due versi (+/-), secondo due distribuzioni, Static EQ e Uniform Acceleration.

Per le Unità Strutturali interessate, si riportano, di seguito, le **curve di capacità** che sono state calcolate in base alle seguenti ipotesi:

- Buon ammorsamento tra maschi e fasce;
- Muratura monolitica e coerente;
- Architravi resistenti a flessione efficacemente ammorsati alle estremità.

La verifica risulta soddisfatta se la capacità della struttura risulta almeno pari a quella di domanda da spettro e nelle ulteriori **tabelle di riepilogo** sono inseriti i risultati delle analisi sia in condizione di Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) sia in condizione di Stato Limite di Operatività (SLO).

5.3.1 Unità strutturale 1

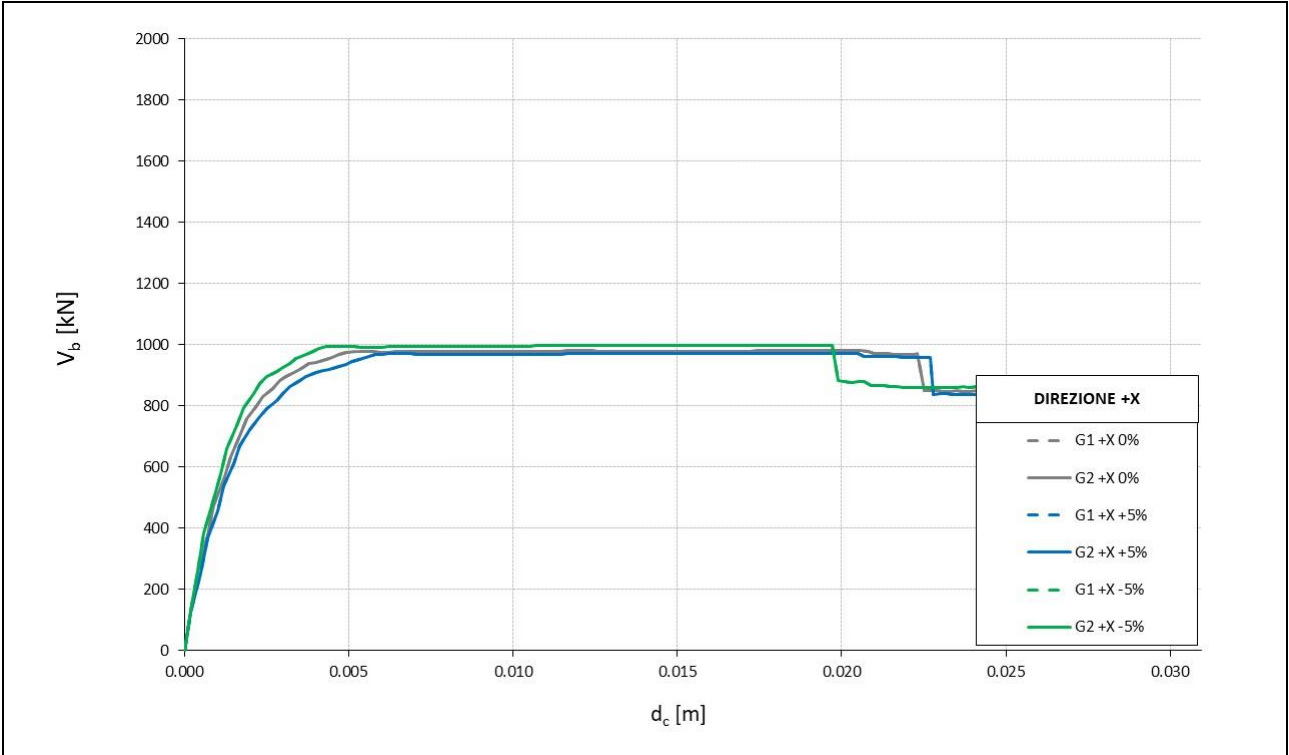


Figura 14 – Curve di capacità per azione sismica agente in direzione longitudinale (+X).

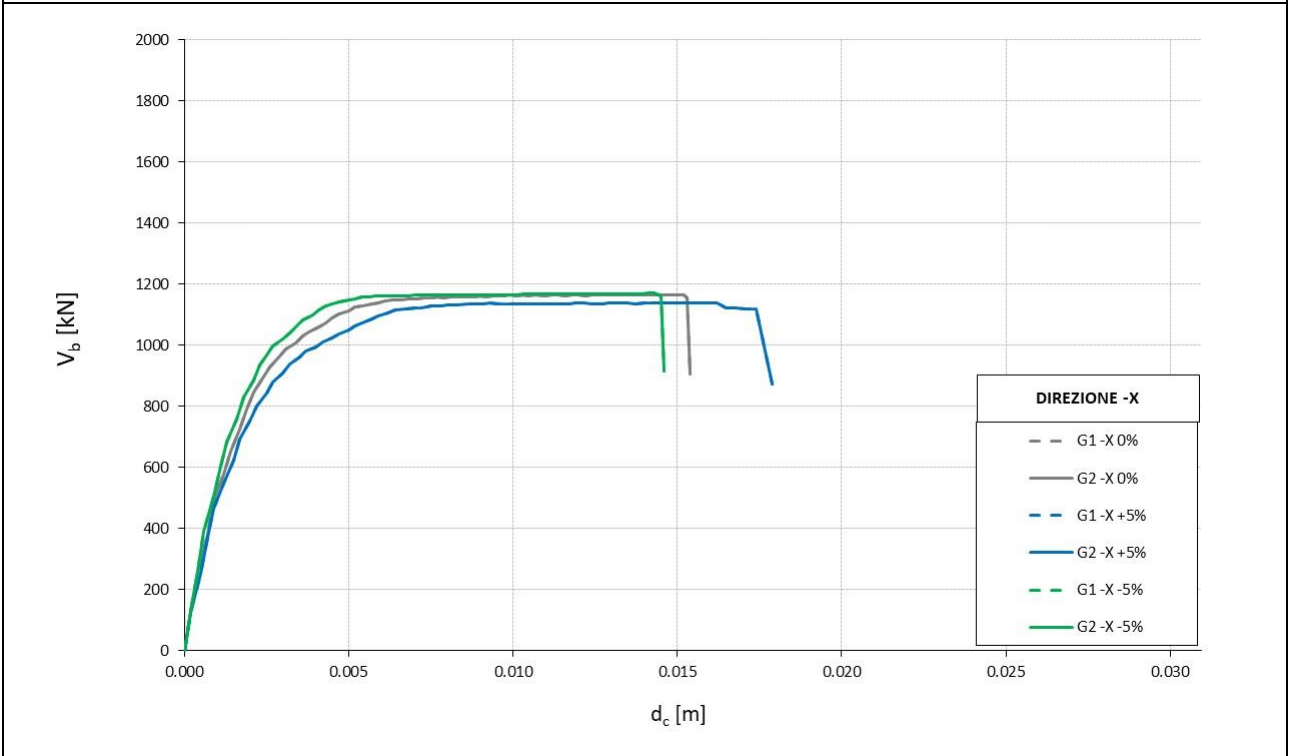


Figura 15 – Curve di capacità per azione sismica agente in direzione trasversale (-X).

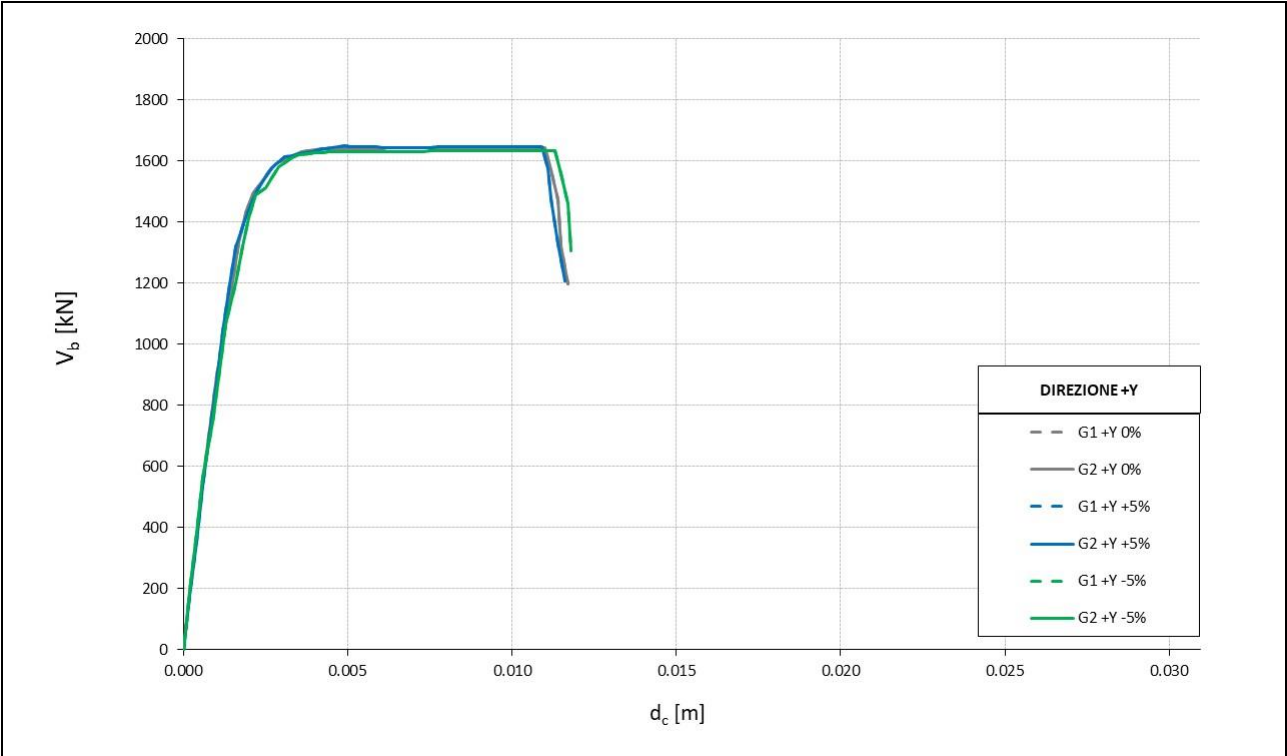


Figura 16 – Curve di capacità per azione sismica agente in direzione longitudinale (+Y).

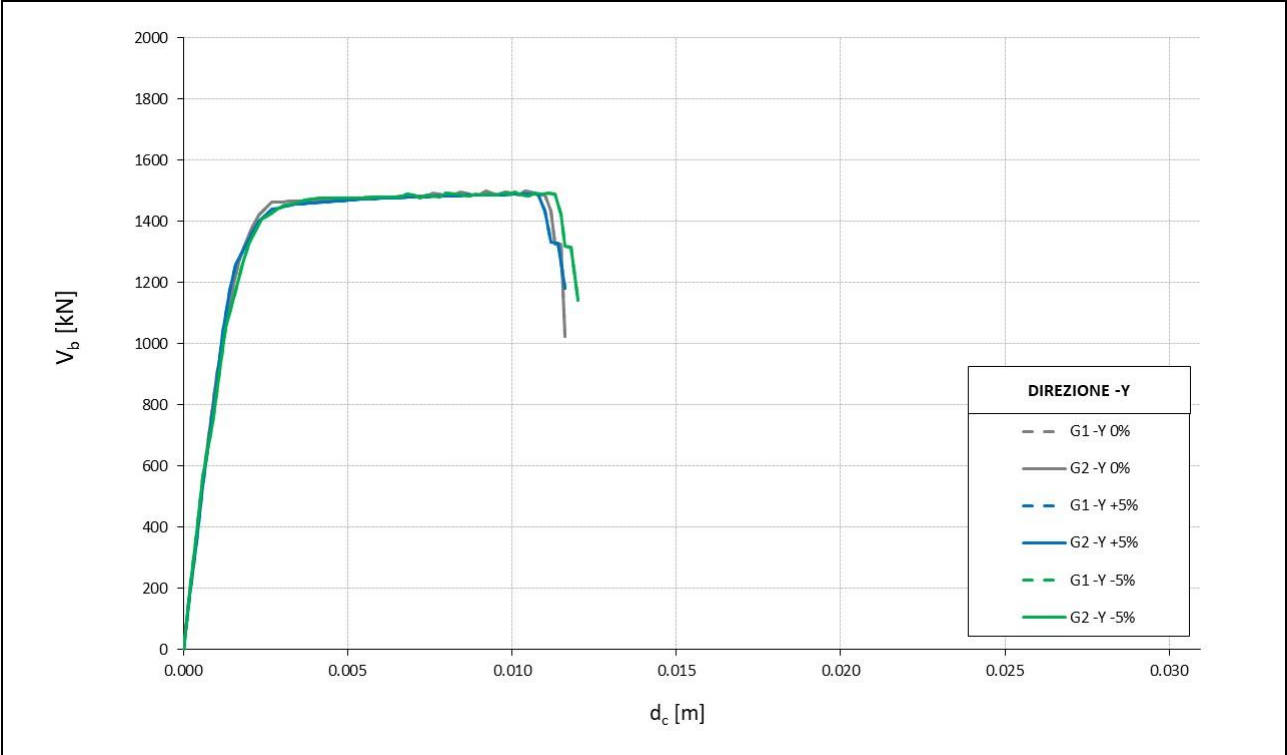


Figura 17 – Curve di capacità per azione sismica agente in direzione trasversale (-Y).

Di seguito si riportano gli indici di sicurezza raggiunti, in riferimento allo Stato limite di Salvaguardia della Vita e in riferimento allo Stato limite di Operatività, evidenziando quelli più gravosi per le due direzioni principali considerate.

Tabella 6 - Verifiche di sicurezza: indici di sicurezza in termini di spostamento e fattore di comportamento per SLV

VERIFICA SLV								
Distribuzione Pushover		Ecc.	Spostamento			Duttilità		z _E
			Domanda	Capacità	Rapporto			
Gruppo	Direzione		d _{max} *(T*) [cm]	d _{SL} * [cm]	d _{max} *(T*)/ d _{SL} *	q*	q* / qlim	
2	+X	0%	0.21	1.97	0.11	0.94	3.19	>1
1	+X	0%	0.21	1.97	0.11	0.94	3.19	>1
2	-X	0%	0.22	1.15	0.19	0.80	3.75	>1
1	-X	0%	0.22	1.15	0.19	0.80	3.75	>1
2	+Y	0%	0.10	0.86	0.12	0.49	6.12	>1
1	+Y	0%	0.10	0.86	0.12	0.49	6.12	>1
2	-Y	0%	0.09	0.86	0.10	0.54	5.56	>1
1	-Y	0%	0.09	0.86	0.10	0.54	5.56	>1
2	+X	5%	0.25	2.00	0.13	0.99	3.03	>1
2	+X	-5%	0.18	1.96	0.09	0.90	3.33	>1
1	+X	5%	0.25	2.00	0.13	0.99	3.03	>1
1	+X	-5%	0.18	1.96	0.09	0.90	3.33	>1
2	-X	5%	0.26	1.30	0.20	0.85	3.53	>1
2	-X	-5%	0.19	1.09	0.17	0.76	3.95	>1
1	-X	5%	0.26	1.30	0.20	0.85	3.53	>1
1	-X	-5%	0.19	1.09	0.17	0.76	3.95	>1
2	+Y	5%	0.09	0.86	0.10	0.49	6.12	>1
2	+Y	-5%	0.10	0.88	0.11	0.50	6.00	>1
1	+Y	5%	0.09	0.86	0.10	0.49	6.12	>1
1	+Y	-5%	0.10	0.88	0.11	0.50	6.00	>1
2	-Y	5%	0.09	0.86	0.10	0.54	5.56	>1
2	-Y	-5%	0.10	0.89	0.11	0.55	5.45	>1
1	-Y	5%	0.09	0.86	0.10	0.54	5.56	>1
1	-Y	-5%	0.10	0.89	0.11	0.55	5.45	>1

Tabella 7 - Verifiche di sicurezza: indici di sicurezza in termini di spostamento per SLO

VERIFICA SLO						
Distribuzione Pushover		Ecc.	Spostamento			z _E
			Domanda	Capacità	Rapporto	
Gruppo	Direzione		d _{max} *(T*) [cm]	d _{SL} * [cm]	d _{max} *(T*)/ d _{SL} *	
2	+X	0%	0.08	0.15	0.53	>1
1	+X	0%	0.08	0.15	0.53	>1
2	-X	0%	0.09	0.19	0.47	>1
1	-X	0%	0.09	0.19	0.47	>1
2	+Y	0%	0.04	0.13	0.31	>1
1	+Y	0%	0.04	0.13	0.31	>1
2	-Y	0%	0.04	0.12	0.33	>1
1	-Y	0%	0.04	0.12	0.33	>1
2	+X	5%	0.09	0.17	0.53	>1
2	+X	-5%	0.07	0.13	0.54	>1
1	+X	5%	0.09	0.17	0.53	>1
1	+X	-5%	0.07	0.13	0.54	>1
2	-X	5%	0.10	0.21	0.48	>1
2	-X	-5%	0.08	0.17	0.47	>1
1	-X	5%	0.10	0.21	0.48	>1
1	-X	-5%	0.08	0.17	0.47	>1
2	+Y	5%	0.04	0.13	0.31	>1
2	+Y	-5%	0.04	0.14	0.29	>1
1	+Y	5%	0.04	0.13	0.31	>1
1	+Y	-5%	0.04	0.14	0.29	>1
2	-Y	5%	0.04	0.12	0.33	>1
2	-Y	-5%	0.04	0.12	0.33	>1
1	-Y	5%	0.04	0.12	0.33	>1
1	-Y	-5%	0.04	0.12	0.33	>1

Gli indici riportati nelle tabelle precedenti rappresentano il rapporto tra la resistenza dell'edificio in oggetto e quello di un edificio analogo progettato in accordo alla normativa vigente, in termini di prestazione globale. Le prestazioni risultano adeguate sia all'SLO che allo SLV con un indice minimo superiore al **100%**. L'esito dell'analisi push-over definisce una bassa probabilità di un collasso globale dell'edificio.

Di seguito si riportano in maggior dettaglio le verifiche che in seguito all'analisi non lineare risultano essere le più gravose allo SLV per le direzioni principali di sollecitazione sismica in corrispondenza dello step relativo allo spostamento massimo.

Direzione X – Analisi con distribuzione n.13

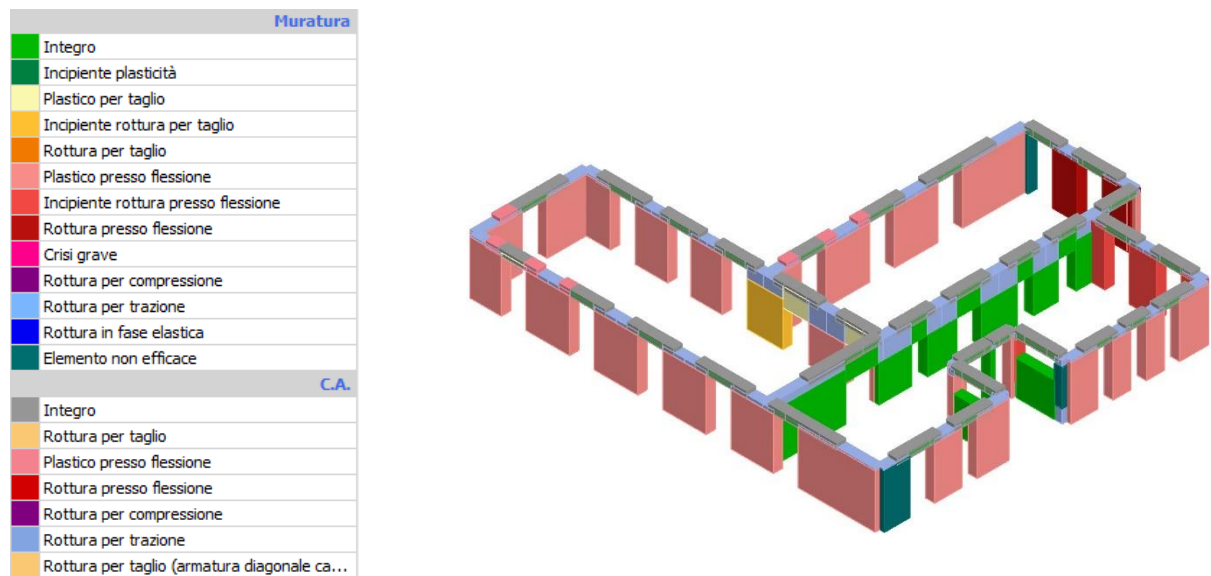


Figura 18 – Danneggiamento elemento in corrispondenza dello spostamento massimo.

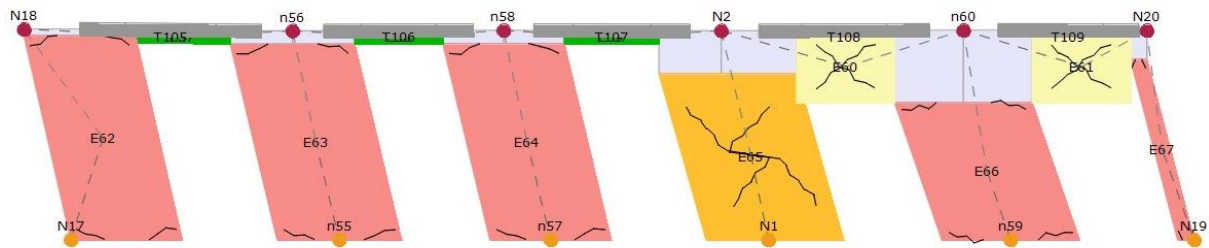


Figura 19 – Deformazione degli allineamenti significativi per la direzione considerata.

Direzione Y – Analisi con distribuzione n.22

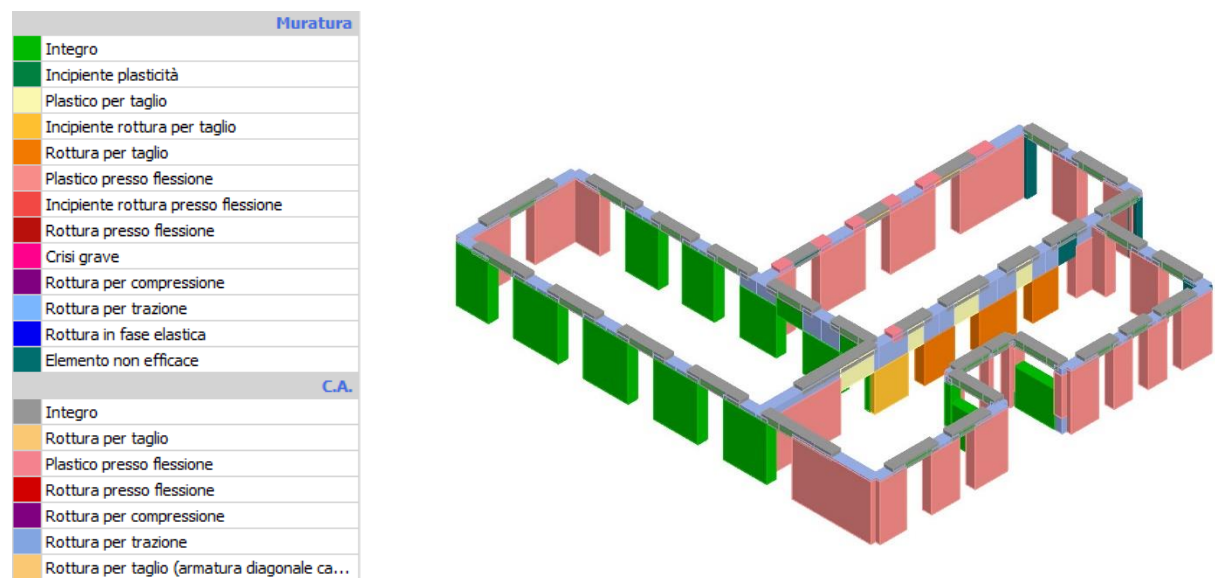


Figura 20 – Danneggiamento elemento in corrispondenza dello spostamento massimo.

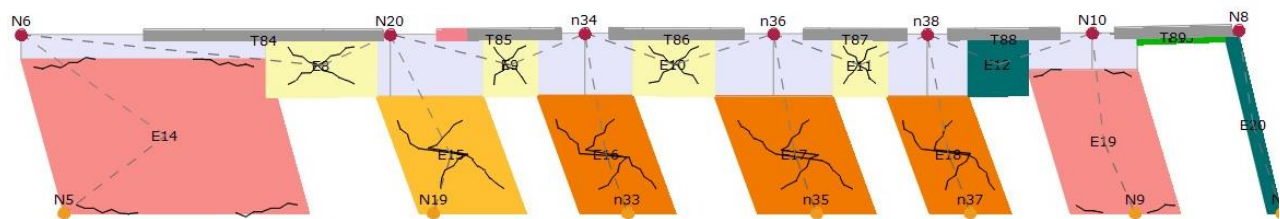


Figura 21 – Deformazione degli allineamenti significativi per la direzione considerata.

5.4. Vulnerabilità Specifiche

L'intero edificio è stato sottoposto ad una analisi orientata all'individuazione delle vulnerabilità; dall'analisi morfologica è stato possibile riscontrare l'eventuale presenza di irregolarità geometriche in pianta o in elevazione, delle quali si è tenuto conto per l'elaborazione dei modelli numerici. Mediante uno studio più dettagliato degli elementi costituenti ciascuna Unità Strutturale ed il rilievo delle relative connessioni, si è stati in grado di identificare ulteriori vulnerabilità intrinseche dovute ad elementi strutturali o non strutturali. Queste Vulnerabilità Specifiche sono spesso conseguenza di non corrette modalità costruttive, o di situazioni di carente o errata manutenzione.

Le osservazioni condotte durante il sopralluogo non hanno evidenziato particolari vulnerabilità e/o criticità da segnalare riguardo a possibili carenze di natura sismica del manufatto. In caso di evento sismico, tuttavia, deve essere comunque considerata la possibilità dell'insorgenza di danni sugli elementi non strutturali, come ad esempio i tavolati divisorii, i sistemi di controsoffittatura e/o elementi appesi.

5.5. Classificazione Sismica

La classificazione del Rischio sismico può essere valutata, ai sensi dei DD.MM. 58-65 2017, attribuendo a ciascuna US una specifica **Classe di Rischio Sismico**, da A+ a F.

Indice di sicurezza	Classe IS-V	
$100\% < IS-V$	A+ _{IS-V}	
$100\% \geq IS-V > 80\%$	A _{IS-V}	
$80\% \geq IS-V > 60\%$	B _{IS-V}	
$60\% \geq IS-V > 45\%$	C _{IS-V}	
$45\% \geq IS-V > 30\%$	D _{IS-V}	
$30\% \geq IS-V > 15\%$	E _{IS-V}	
$IS-V \leq 15\%$	F _{IS-V}	

L'appartenenza a ciascuna classe è determinata in base ai valori assunti dall'**indice di sicurezza** IS-V (attualmente indicato come coefficiente ζ_E nelle nuove NTC 2018), definito - come descritto nel paragrafo precedente - dal rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita e quella prevista, nello stesso sito per un nuovo edificio. Vengono così fissate sette diverse classi caratterizzate dai valori di soglia determinanti per ricadervi secondo i valori presentati in tabella.

6. CONCLUSIONI

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza si è proceduto ad eseguire analisi diagnostiche ed elaborazioni per valutare il rischio sismico dell'edificio che ospita la Ex Mensa della Scuola Primaria sito in Via Santa Veronica a Orosei (NU).

Dalla documentazione fornita dalla Committenza non è stato possibile determinare con precisione l'anno di costruzione del fabbricato in muratura oggetto della presente indagine, che tuttavia, è verosimilmente databile all'inizio degli anni '60 come il corpo scolastico principale.

La struttura portante dell'edificio non è stata progettata per resistere ai carichi da sisma previsti dalle vigenti NTC 2018. Il Comune di Orosei (NU) è stato classificato, per la prima volta, in Zona Sismica 4 dall'OPCM n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004. In virtù di quanto sopra esposto e del periodo di edificazione è lecito ritenere che le strutture non siano state realizzate secondo criteri "antisismici" moderni.

Il complesso è costituito un unico corpo di fabbrica frutto di una unica edificazione e si sviluppa su di un unico livello fuori terra. Attualmente gli ambienti si presentano in disuso, ma un tempo ospitavano la Mensa dell'attigua Scuola Primaria con annessi locali accessori dedicati alla preparazione e/o porzionatura dei pasti, e servizi. La struttura di elevazione è prevalentemente realizzata in setti di muratura di blocchi di pietra dello spessore di circa 50 cm. Gli orizzontamenti si presentano realizzati con tecnologia laterocementizia con sottotetto non ispezionabile. Si stima che la copertura, che si presenta a falda, sia realizzata mediante muricci e tavelloni che poggiano sulla soletta di supporto sottostante. Le osservazioni condotte in situ non hanno permesso di risalire al sistema di fondazione dei fabbricati.

Sulla base degli approfondimenti eseguiti in fase di indagine e a causa dell'assenza di giunti strutturali, l'edificio è stato considerato come un'unica Unità Strutturale, evidenziata nell'immagine sottostante.

6.1. Sicurezza statica

L'esito della verifica di sicurezza della struttura in esame eseguita ai sensi della Normativa vigente, secondo un livello di conoscenza LC2, è riassunta nella seguente tabella:

N° elementi non verificati			
Unità Strutturali	Tipologia costruttiva	Muratura	
		Verifica SLU	$\gamma_m < 2$
US1	Muratura M1	0	0
TOTALE		0	

Dalle verifiche condotte riportate nei paragrafi precedenti e riassunte nella precedente tabella è possibile concludere che, in condizione SLU, **tutti i maschi murari soddisfano le verifiche.**

6.2. Sicurezza sismica

I risultati analitici ottenuti dalle verifiche delle diverse unità strutturali, eseguite con livello di conoscenza LC2, hanno consentito di definire i valori di **sicurezza sismica** ζ_E corrispondenti ad una determinata classe di rischio sismico. La tabella sotto riportata riassume, per ogni Unità Strutturale individuata, i risultati ottenuti dalle verifiche eseguite:

CLASSIFICAZIONE SISMICA						
Unità Strutturale	Tipologia costruttiva	Spostamento Max [cm]	ζ_E (PGA _C /PGA _D)	T _{R,SLV} [anni]	(TR _{CLV} /TR _{DLV}) ^a	Classe
US1	Muratura	-	>100%	>712	>1.00	A+ ISV

I risultati delle analisi svolte evidenziano per l'Unità Strutturale esaminata una prestazione di sicurezza sismica superiore a quella minima accettabile (IS-V pari al 60%). Tale prestazione risulta un limite superiore per la struttura una volta che si siano garantite le ipotesi alla base della modellazione globale (efficace collegamento degli orizzontamenti alle murature d'ambito ed efficace ammortamento tra gli elementi murari).

In caso di evento sismico deve essere considerata la possibilità dell'insorgenza di danni sugli elementi non strutturali, come ad esempio i tavolati divisorii, i sistemi di controsoffittatura e/o elementi appesi.

Orosei (NU), 02/09/2022

Dott. Ing. Marco Gallotta

Tecnoindagini Srl



TECNOINDAGINI SRL
Via Monte Sabotino n° 14
20095 Cusano M. (MI)
P. IVA 06383520969