



AGENZIA DEL DEMANIO

DIREZIONE REGIONALE CALABRIA
SERVIZI TECNICI

RIFUNZIONALIZZAZIONE IMMOBILE DEMANIALE
"EX CASERMA DUCA D'AOSTA" PER NUOVO POLO MEF
SITO IN REGGIO CALABRIA (RC)
SCHEMA RCD0026

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA

Relazione tecnica di calcolo vulnerabilità
sismica corpo C in muratura

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO



ING. SALVATORE CONCETTINO

IL TECNICO ISTRUTTORE



ING. ALESSANDRA LEGATO

CODICE ELABORATO
R02-2

SCALA

PROTOCOLLO E DATA
2019/4893 /DRCAL/STE del 14/03/2019

INNOVATIONS S.R.L.

AGENZIA DEL DEMANIO

Direzione Regionale Calabria

Via Gioacchino Da Fiore n.34 – 88100 Catanzaro

**AFFIDAMENTO DI INCARICO PER LA VERIFICA SISMICA DEL
COMPENDIO DEMANIALE DENOMINATO "EX CASERMA DUCA
D'AOSTA" in Reggio Calabria (RC) - scheda RCD0026, ubicata tra via
Reggio Campi ed il quartiere Trabocchetto (RC). C.I.G. 6617453EF4**



RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO VULNERABILITÀ SISMICA CORPO C IN MURATURA

Il responsabile Unico del procedimento

Ing. Salvatore Concettino

Il Tecnico

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)

P.IVA 03372370548 – REA PG-284516

Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924

mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

SOMMARIO

SOMMARIO	2
1 RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA	3
1.1 Generalità	3
1.2 Dati forniti dalla Stazione Appaltante	4
1.3 Stato attuale dell'edificio e sua parziale agibilità.....	4
1.4 Analisi storico-critica	5
1.5 Livello di conoscenza della struttura.....	6
1.6 Descrizione della struttura	9
1.7 Descrizione dello stato di danno.....	10
1.8 Normative ed Istruzioni di riferimento.....	12
2. RELAZIONE SUI MATERIALI	13
2.1 Rilievo geometrico della struttura	13
2.2 Caratteristiche dei materiali esistenti.....	13
3.1 Schematizzazione della struttura e dei vincoli.....	18
3.2 Azioni applicate e definizione delle masse.....	27
4. ANALISI DI VULNERABILITÀ – STATO ATTUALE.	33
4.1 Verifiche per i carichi verticali in stato limite ultimo.....	33
4.2 Verifiche locali cinematiche.	35
4.3 Verifica globale con analisi statica non lineare.	43
5. RIEPILOGO RISULTATI.	50
ALLEGATO 1 – VALIDAZIONE SOFTWARE 3MURI.	51

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

1 Relazione tecnico-illustrativa

1.1 Generalità

Il compendio demaniale denominato "EX CASERMA DUCA D'AOSTA", è ubicato tra via Reggio Campi ed il quartiere Trabocchetto, in una zona semicentrale di Reggio Calabria (RC).

Il complesso comprende due corpi gemellati in c.a. (corpi A e B) disposti tra loro paralleli secondo l'asse maggiore ed un terzo edificio in muratura, denominato corpo C, disposto in direzione ortogonale ai primi due oltre ad altri corpi minori che si trovano nelle adiacenze, corpi D e E. La loro costruzione risale ad un periodo compreso fra il 1913 e il 1919.

L'Ex Caserma è stata sottoposta a Vincolo storico artistico con decreto n. 32 del 22/03/2005 ed è soggetta alle disposizioni del D.Lgs. 42 del 22/01/2004.



Figura 1 Vista aerea del complesso

La posizione geografica espressa nel sistema ED50 e l'altitudine degli edifici in oggetto risultano:

- latitudine: 38° 06' 25.61" N
- longitudine: 15° 39' 13.373" E
- altitudine: 110 m s.l.m.

La presente relazione illustrerà in dettaglio l'analisi svolta per approfondire la conoscenza della struttura in esame attraverso sopralluoghi in situ e campagne di indagini sperimentali; in questo modo sarà possibile definire le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, le proprietà

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

dei materiali da costruzione impiegati e i dettagli costruttivi.

Si procederà quindi ad una valutazione della vulnerabilità della costruzione nei riguardi dell'azione sismica tramite analisi, su modelli numerici, di tipo statico non lineare, con costruzione delle curve di capacità, dalle quali ricavare le condizioni del fabbricato in corrispondenza dello spostamento di domanda determinato secondo le indicazioni del D.M. 14/01/2008.

1.2 Dati forniti dalla Stazione Appaltante

Per quanto riguarda le caratteristiche dell'edificio in oggetto è stato fornito dalla Stazione Appaltante il seguente materiale:

- Elaborati grafici architettonici in formato digitale:
 - o Pianta piano terra
 - o Pianta piano primo
 - o Pianta piano di copertura

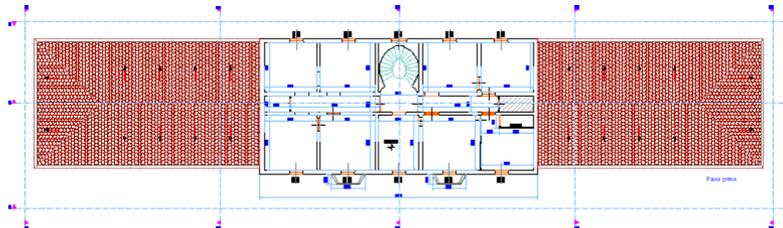


Figura 2 Stralcio del materiale architettonico reperito.

1.3 Stato attuale dell'edificio e sua parziale agibilità

L'edificio presenta uno stato di parziale agibilità sia per il crollo di elementi murari che interessano diverse zone della costruzione che per l'occupazione abusiva di sue parti.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

1.4 Analisi storico-critica

La scarsa documentazione archivistica e la segretezza cui fu assoggettata in quanto costruzione militare non permette di trarre notizie circa la data esatta di fondazione, il nome del progettista e la vita dell'edificio. Si hanno solo due informazioni, l'una relativa alla visita di S.A.R. il Principe Umberto del 2 aprile 1936, l'altra, desunta da un verbale datato 8 gennaio 1947 e redatto dalla Direzione lavori del Genio Militare Territoriale di Napoli, in cui si legge della dismissione della caserma a favore del Demanio dello Stato.

La vicenda costruttiva della Caserma "Duca D'Aosta" inizia nel 1912 quando il Ministero della Guerra, con un decreto Regio datato 17 ottobre, ne autorizza l'inizio dei lavori.

La caserma nasce per assicurare alloggio alle truppe del 3° Gruppo di artiglieria del Castello Aragonese che dopo il sisma del 1908 erano state ricoverate provvisoriamente in alcune baracche attigue in attesa della demolizione totale della fortezza medievale che tuttavia, a causa delle forti resistenze da parte dei cittadini, venne ridimensionata e ridotta esclusivamente ad alcune porzioni. Da una prima ricognizione, si sceglie di ubicare la nuova caserma in un sito individuato all'interno del quartiere Reggio Campi, nella parte alta della città, lungo l'attuale via Trabocchetto III.

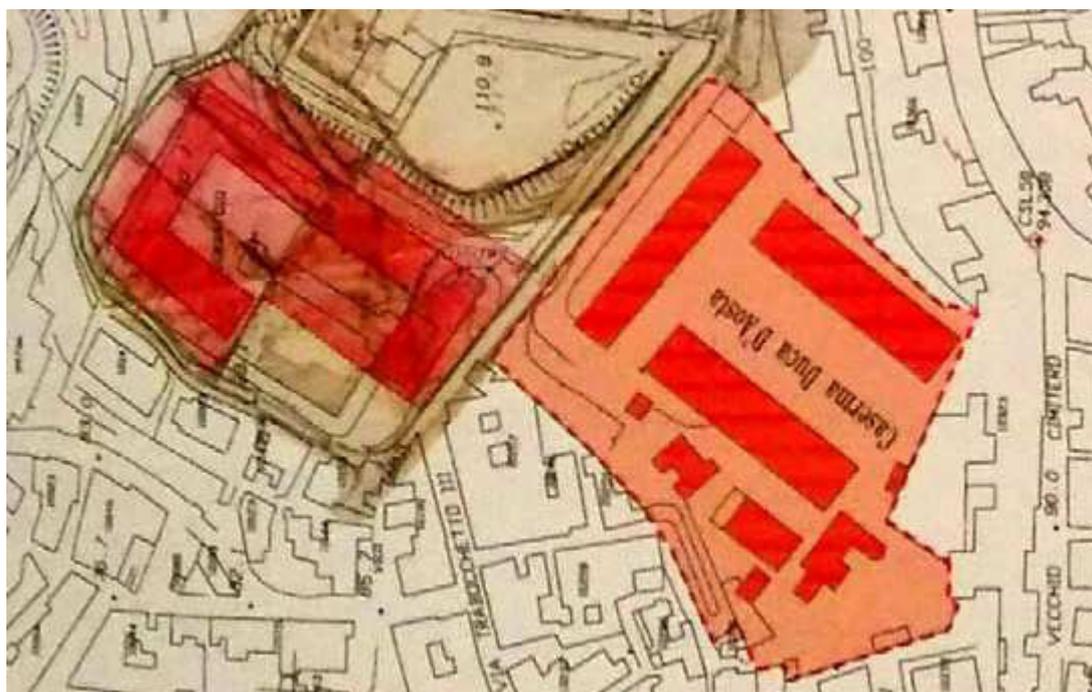


Figura 3 Immagine con indicazione a sinistra della prima proposta di collocazione della caserma e a destra della collocazione attuale (da MARTINO L.P.M., Una costruzione anti sismica post-terremoto. La Caserma d'Artiglieria "Duca d'Aosta")

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Il complesso militare si compone di tre corpi di fabbrica, disposti a “C”, organizzati attraverso un corpo centrale detto “**Corpo di Comando**” e altri due edifici posti perpendicolarmente e perfettamente simmetrici che denunciano l’unitarietà con cui viene pensato l’intero progetto.

La palazzina di Comando, organizzata su due livelli e coperta con un tetto piano, è affiancata da due corpi di fabbrica, ad essa addossati, disposti su un unico livello e coperti con un tetto a doppia falda.

Esternamente l’edificio si presenta austero e simmetrico dal punto di vista compositivo ad accezione della porzione centrale del lato occidentale in cui i balconi tondeggianti e il portale d’accesso principale rompono la monotonia dei prospetti che tuttavia mostrano un’attenzione particolare alla decorazione delle finestre: al piano terra si nota la presenza di finestre ad arco a tutto sesto fortemente ribassato e circondate da un doppio ordine di cornici, mentre al piano superiore, nel prospetto che affaccia sulla corte interna del complesso, si nota la presenza di balconi a pianta semiellittica.

Dal punto di vista costruttivo, la palazzina è realizzata in muratura portante sulla quale poggiano le strutture orizzontali dei solai realizzate in latero-cemento armato.

1.5 Livello di conoscenza della struttura

La conoscenza delle strutture oggetto di verifica è stata conseguita mediante sopralluoghi in situ ed una campagna di indagini sperimentali.

La definizione dei livelli di approfondimento delle indagini è stato pianificato facendo riferimento al D.P.C.M. 09/02/2011 “Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008”, in quanto l’Ex Caserma Duca d’Aosta è sottoposta a Vincolo storico artistico e soggetta alle disposizioni del D.Lgs. 42 del 22/01/2004.

Il rilievo geometrico della struttura, ha consentito di definire gli spessori dei maschi murari con la restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi. In particolare sono state rilevate nicchie, aperture e cavedi sui paramenti murari.

Le proprietà meccaniche dei materiali sono state desunte da estese indagini sui parametri meccanici dei materiali eseguite dalla Experimentations s.r.l. (Relazione 10998-ROP /17), con prove di compressione su elementi in pietra e laterizio e su provini di malta (prove Darmstad) per la caratterizzazione delle murature e con prove chimiche e penetrometriche su malta.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

In particolare sono stati eseguiti n. 2 prelievi di campioni di malta per analisi chimiche di Laboratorio per la classificazione dell'impasto, caratterizzazione degli aggregati e del legante, la determinazione delle caratteristiche micromorfologiche, granulometriche, porosimetriche e la valutazione dello stato di conservazione dei campioni. Dalle analisi condotte sui due campioni analizzati risulta che la malta è costituita da sabbia naturale, silicatica, con clasti di rocce metamorfiche rappresentati da gneiss biotitici, scisti muscovitici e clasti monomineralici da essi derivanti (quarzo, K-feldspato, plagioclasio, biotite, muscovite) variamente alterati in prodotti di tipo cloritico, sericitico ed epidotico. Il quarzo presenta sempre vistosi segni di deformazione intracristallina (estinzione ondulosa). I clasti hanno forma subarrotondata e dimensioni prevalentemente comprese tra 1-2 mm (max 5 mm). La matrice legante è costituita da calcite microcristallina (da carbonatazione di calce aerea) a struttura omogenea.

Il rapporto legante/aggregato è all'incirca pari a 1/3. Nel campione non si osservano fasi secondarie riconducibili a fenomeni di alterazione/degrado. La malta si presenta poco coesa, infatti si sbriciola sotto la pressione delle dita.

Infatti dalle due analisi penetrometriche effettuate sulla malta sono stati stimati valori di resistenza alla compressione modesti pari rispettivamente a 0,75 e 0,9 N/mm² in linea con quanto ottenuto dai risultati delle quattro prove di punzonamento sui campioni di malta prelevati, per i quali il massimo valore ottenuto è di 0,7 N/mm².

Sono stati invece ottenuti buoni valori di resistenza dalle prove di compressione su elementi lapidei (pari a 70,6 e 72,2 N/mm²) e in laterizio (31 e 20,6 N/mm²). Non è stato tuttavia possibile stimare il valore di resistenza della muratura in mattoni in quanto il valore di resistenza a compressione del provino di malta fm non rientra nella tabella 11.10.V del D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e della muratura in pietra in quanto la tabella 11.10.VI del D.M.14.01.2008 non riporta nessun valore quando la resistenza della pietra supera i 40 N/mm² mentre la resistenza della malta rimane inferiore ai 5 N/mm².

Non sono state eseguite prove debolmente distruttive (doppio martinetto piatto) o distruttive (prova a scorrimento-taglio) per la determinazione delle caratteristiche meccaniche delle murature, in osservanza a quanto specificato nel paragrafo 4.1.7 del D.P.C.M. 09/02/2011 che prescrive di evitare indagini aventi carattere distruttivo, data peraltro la parziale agibilità della struttura e avendo inoltre a disposizione prove condotte su muratura di edificio pubblico della stessa regione, ed avente tipologia strutturale e materiali di analoghe caratteristiche (Ex Ufficio di Collocamento sito in Viale Trieste n.94 in Cosenza). Motivazioni analoghe vengono addotte per quanto riguarda le endoscopie su solai.

Per la caratterizzazione del terreno, sono state condotte estese indagini sul terreno eseguite dalla

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Experimentations s.r.l. (Relazione 10998-ROP_GEO/17) con Indagini geognostiche dirette ed indirette tipo DPSH - MASW – HVSR, saggi geognostici e prove di laboratorio. Per la individuazione delle strutture fondali sono stati eseguiti saggi sulle fondazioni di tutti gli edifici.

Pertanto secondo quanto indicato sulla tabella 4.1 del D.P.C.M. 09/02/2011 risulta:

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

Figura 4 Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini.

Sulla base dei coefficienti numerici associati alle quattro categorie di indagine riportate nella tabella precedente, il fattore di confidenza raggiunto risulta pari a:

$$F_C = 1 + \sum_k F_{Ck} = 1,00 \quad (\text{formula 4.1 del D.P.C.M. 09/02/2011})$$

Volendo determinare il livello di conoscenza (§ C8A.1.A.4 della Circ. Min. LL.PP. N.617/2009) raggiunto mediante tale campagna di indagini sperimentali per le strutture in oggetto in base al fattore di confidenza di cui alla formula sopra riportata, si può affermare di aver raggiunto il livello **LC3**.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

1.6 Descrizione della struttura

Il corpo C ha una forma rettangolare in pianta ed in elevazione si sviluppa su due livelli fuori terra nella parte centrale, piano rialzato e piano primo con copertura piana; su un solo livello (piano rialzato) nelle due ali laterali con sottotetto non praticabile e copertura costituita da tetto a falde.

La copertura ha una doppia orditura lignea, con sovrastante manto di copertura in tegole marsigliesi.

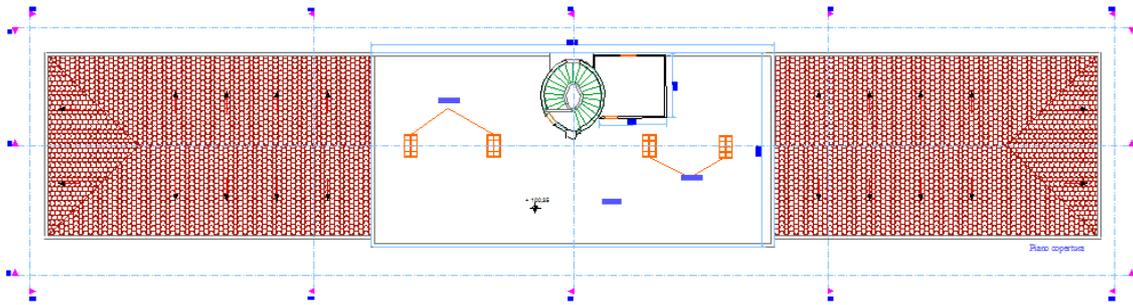


Figura 5 Pianta copertura.

Dai saggi effettuati risulta che il corpo C al primo livello ha una struttura verticale in muratura di pietrame disordinata, con presenza di listature in mattoni, mentre al secondo livello ha una struttura verticale in muratura di mattoni pieni: lo spessore delle murature è di 30 cm.



Figura 6 Struttura verticale murature.

Come risultante dalle indagini sperimentali, le fondazioni sono costituite da una trave in cls di 80 cm di altezza e di 30 cm di spessore.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

1.7 Descrizione dello stato di danno

Il fabbricato oggetto d'esame presenta uno stato di danno abbastanza rilevante, in particolare si rilevano:

- Caduta parapetto in mattoni pieni



- Parziale distacco del manto di copertura



- Degrado muratura e rilevante deterioramento malta



INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

- Crollo parziale dei parapette dei balconi ed espulsione totale del copriferro della soletta



- Crolli di porzioni di murature



INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

1.8 Normative ed Istruzioni di riferimento

- D.M. 14 Gennaio 2008
Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Circolare Ministero LL.PP. 2 Febbraio 2009 N. 617 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'Applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- D.P.C.M. 9 Febbraio 2011
Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

2. Relazione sui materiali

2.1 Rilievo geometrico della struttura

Il rilievo delle geometrie che caratterizzano la struttura portante dell'edificio è stato eseguito ex-novo, con l'ausilio delle piante fornite.

In particolare è stato determinato lo spessore delle pareti in muratura, provvedendo inoltre al rilievo delle geometrie delle aperture.

Per la restituzione dettagliata della struttura si rimanda alle tavole prodotte.

2.2 Caratteristiche dei materiali esistenti

Le indagini effettuate dal Laboratorio S.G.M. (Relazione 10998_ROPA/17), hanno consentito la determinazione della geometria degli elementi resistenti e delle proprietà dei materiali dell'edificio.

Dai saggi effettuati si può asserire che la tipologia di muratura resistente è :

- Muratura in pietra irregolare: con presenza di listature in mattoni pieni al primo livello
- Muratura in mattoni pieni sia nelle pareti interne del primo livello che in tutte le murature del secondo livello.

Il dettaglio delle proprietà dei materiali utilizzati nella modellazione sono di seguito riportate.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

- **Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)**

Osservando le immagini dei saggi condotti sulle strutture murarie ed analizzando i valori sperimentali delle caratteristiche meccaniche della muratura, si è ipotizzato di considerare la muratura della tipologia riportata in Tab. C8A.2.1. quale ***Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)***"



Figura 7 Saggio su muratura in mattoni.

Le analisi Darmstadt eseguite sottoponendo a prove di compressione un campione di malta e un campione di mattone, hanno fornito valori di resistenze a compressione del provino di malta f_m tali da non permettere un'interpolazione nella tabella 11.10.V del TESTO UNICO D.M. del 14 gennaio 2008, per tale motivo non è possibile stimare la resistenza a compressione della muratura.

Pertanto si è scelto di considerare le caratteristiche meccaniche medie della muratura fornite dalle NTC 2008 per la tipologia riportata in Tab. C8A.2.1 "***Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)***", considerando un livello di conoscenza pari a LC3.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbalzati, con paramento di innestato spessore e nucleo interno	200 300	3,3 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
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
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

I parametri meccanici della muratura sono i seguenti:

- $f_m = 140 \text{ N/cm}^2$ Resistenza media a compressione della muratura
- $\tau_0 = 2.6 \text{ N/cm}^2$ Resistenza media a taglio della muratura
- $E^* = 870 \text{ N/mm}^2$ Valore del modulo di elasticità medio
- $G = 290 \text{ N/mm}^2$ Valore del modulo di elasticità tangenziale medio
- $w = 19 \text{ KN/m}^3$ Peso specifico medio della muratura

*Si sottolinea che il valore del modulo elastico assunto, pari al valor medio da tabella, è coerente con quello ottenuto dalla prova di martinetto piatto doppio sull'edificio sopra citato, per il quale è stato ottenuto il valore di:

$$E = 817 \text{ N/mm}^2$$

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Secondo quanto indicato al punto §8.5.3 e §8.7.1 della Norma vigente e al punto §C8.7.1.5 della Circolare n°617 del 02/02/2009, nel caso di analisi elastica con il fattore q (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori assunti per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente di sicurezza dei materiali, mentre nel caso di analisi non lineare i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori assunti per i rispettivi fattori di confidenza

Nel caso in esame, svolgendo le verifiche per azione sismica con analisi non lineari con costruzione delle curve di Pushover, ed essendo il fattore di confidenza pari a $FC = 1.0$, i valori di calcolo delle resistenze per la muratura in esame risultano pari a:

- $f_{md} = f_m / FC = 140.0 \text{ N/cm}^2$ **Resistenza di calcolo a compressione della muratura**

- $\tau_{0d} = \tau_0 / FC = 2.60 \text{ N/cm}^2$ **Resistenza di calcolo a taglio della muratura**

Per quanto riguarda le rigidezze, secondo quanto riportato al punto §7.2.6 del D.M. 14/01/2008, tenendo conto del fenomeno della fessurazione per materiali fragili, quali appunto la muratura, i valori medi delle rigidezze vengono ridotti del 50%, risultando:

- $E_f = 435 \text{ N/mm}^2$ **Valore medio fessurato del modulo di elasticità normale**

- $G_f = 145 \text{ N/mm}^2$ **Valore medio fessurato del modulo di elasticità tangenziale**

Per tener conto dell'elevato livello di degrado della muratura in pietrame, sottoposta a dilavamento per la mancanza dello strato protettivo dell'intonaco in numerose zone con rilevante deterioramento della malta, si trascura il contributo del coefficiente migliorativo per la presenza di ricorsi (o listature in mattoni), previsto dalla tabella C8A.2.2 per i parametri di resistenza (f_m e τ_0) tra il piano terra e il piano primo, ponendolo pertanto pari ad 1.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

- **Muratura in mattoni pieni**

Per la muratura del secondo livello e per le pareti interne del primo livello, si considerano i valori presenti in Tab. C8A.2.1, scegliendoli secondo quanto indicato al punto §C8A.1.A.4, per la tipologia **“Muratura in mattoni pieni e malta di calce”**.

Considerando un livello di conoscenza pari a LC3, per quanto riguarda le proprietà meccaniche della muratura si considerano i valori medi delle resistenze ed i valori medi dei moduli elastici, presenti in Tab. C8A.2.1:

- $f_m = 320 \text{ N/cm}^2$ **Resistenza media a compressione della muratura**
- $\tau_0 = 7.6 \text{ N/cm}^2$ **Resistenza media a taglio della muratura**
- $E = 1500 \text{ N/mm}^2$ **Valore medio del modulo di elasticità normale**
- $G = 500 \text{ N/mm}^2$ **Valore medio del modulo di elasticità tangenziale**
- $w = 18 \text{ KN/m}^3$ **Peso specifico medio della muratura**

Secondo quanto indicato al punto §8.5.3 e §8.7.1 della Norma vigente e al punto §C8.7.1.5 della Circolare n°617 del 02/02/2009, nel caso di analisi elastica con il fattore q (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente di sicurezza dei materiali, mentre nel caso di analisi non lineare i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori assunti per i rispettivi fattori di confidenza.

Nel caso in esame, svolgendo lo studio del comportamento globale per verifica nei confronti dell'azione sismica con analisi non lineari tramite costruzione delle curve di Pushover, ed essendo il fattore di confidenza pari a $FC = 1$, i valori di calcolo delle resistenze per la muratura in esame risultano pari a:

- $f_{md} = f_m / FC = 320 \text{ N/cm}^2$ **Resistenza di calcolo a compressione della muratura**
- $\tau_{0d} = \tau_0 / FC = 7.6 \text{ N/cm}^2$ **Resistenza di calcolo a taglio della muratura**

Per quanto riguarda le rigidezze, secondo quanto riportato al punto §7.2.6 del D.M. 14/01/2008, tenendo conto del fenomeno della fessurazione per materiali fragili, quali appunto la muratura, i valori medi delle rigidezze vengono ridotti del 50%, risultando:

- $E_f = 750.0 \text{ N/mm}^2$ **Valore fessurato del modulo di elasticità normale**
- $G_f = 250.0 \text{ N/mm}^2$ **Valore fessurato del modulo di elasticità tangenziale**

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

3. DESCRIZIONE MODELLO STRUTTURALE E DEFINIZIONE DELLE AZIONI APPLICATE

Nel presente capitolo vengono illustrate le metodologie di modellazione della struttura che ha comportato la generazione di un modello tridimensionale dell'intero edificio per svolgere le analisi necessarie alle verifiche sismiche globali ai sensi del D.M. 14/01/2008.

3.1 Schematizzazione della struttura e dei vincoli

Struttura resistente dei pannelli murari ed orizzontamenti.

La struttura portante dell'edificio in oggetto è realizzata in muratura che si sviluppa per tutta l'altezza dell'edificio. Per la sua modellazione ci si avvale del software 3Muri ver. 5.0.211.

Il modello di calcolo adottato dal software opera nell'ambito dell'approccio di modellazione a telaio equivalente tridimensionale, in cui le pareti sono interconnesse da diaframmi orizzontali di piano (solai).

Le ipotesi sulle quali esso si basa si ispirano ad una concezione scatolare della struttura in muratura secondo cui la struttura portante, con riferimento alle azioni orizzontali e verticali, è identificata dalle pareti e dai solai (o volte).

Le pareti sono propriamente gli elementi portanti, mentre i solai, oltre che a distribuire i carichi verticali sulle pareti sono considerati come elementi di irrigidimento nel piano (modellati come elementi membrana ortotropi), da cui dipende la distribuzione tra le varie pareti delle azioni orizzontali. Il comportamento flessionale e locale dei solai e la risposta fuori piano delle pareti non sono considerati in questo modello che analizza la risposta globale dell'edificio governata dal comportamento nel piano delle pareti.

Secondo la rappresentazione a telaio, ciascuna parete dell'edificio è suddivisa in elementi nei quali è concentrata la deformabilità e la non linearità della risposta – quali maschi (pannelli murari) e fasce (travi di collegamento in muratura) – collegati da porzioni rigide (nodi).

Le figure seguenti illustrano una esemplificazione dell'idealizzazione della parete in telaio equivalente nel caso di disposizione di aperture regolare ed irregolare rispettivamente in accordo ai principi utilizzati per la generazione automatica della mesh dal programma di calcolo adottato.

Nello specifico tali criteri di generazione automatica della mesh possono essere così sintetizzati:

- *Altezza dei nodi*: media delle altezze delle fasce adiacenti. La regola è applicata separatamente per ciascun livello;

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

- *Altezza delle fasce*: l'altezza coincide con la larghezza di sovrapposizione totale incrementata di metà della larghezza della regione di sovrapposizione parziale. Quando non c'è sovrapposizione la fascia non è generata.

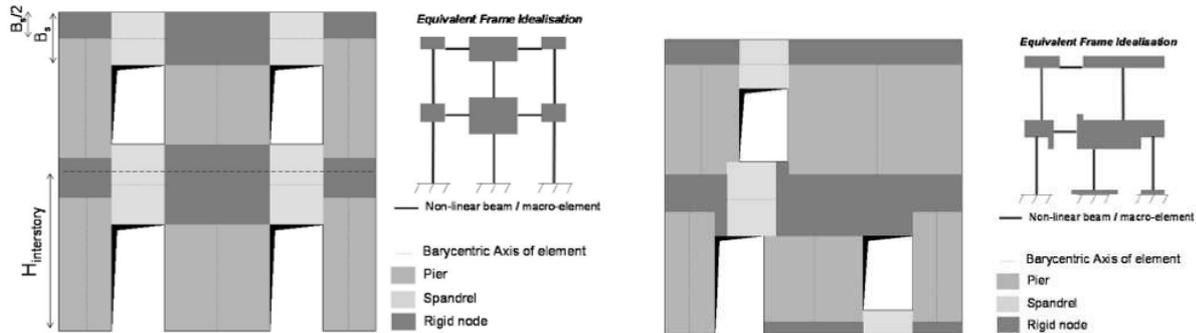


Figura 8 Definizione delle zone rigide e deformabili per diverse configurazioni delle aperture.

I nodi sono classificati come: tridimensionali a 5 gradi di libertà (le tre componenti di spostamento nel sistema di riferimento globale e le rotazioni intorno agli assi X e Y trascurando dunque la rotazione attorno all'asse Z coerentemente con l'ipotesi di trascurare la risposta fuori piano delle pareti) all'intersezione tra più pareti; bidimensionali a 3 gradi di libertà (due traslazionali e la rotazione nel piano della parete) definiti su un'unica parete.

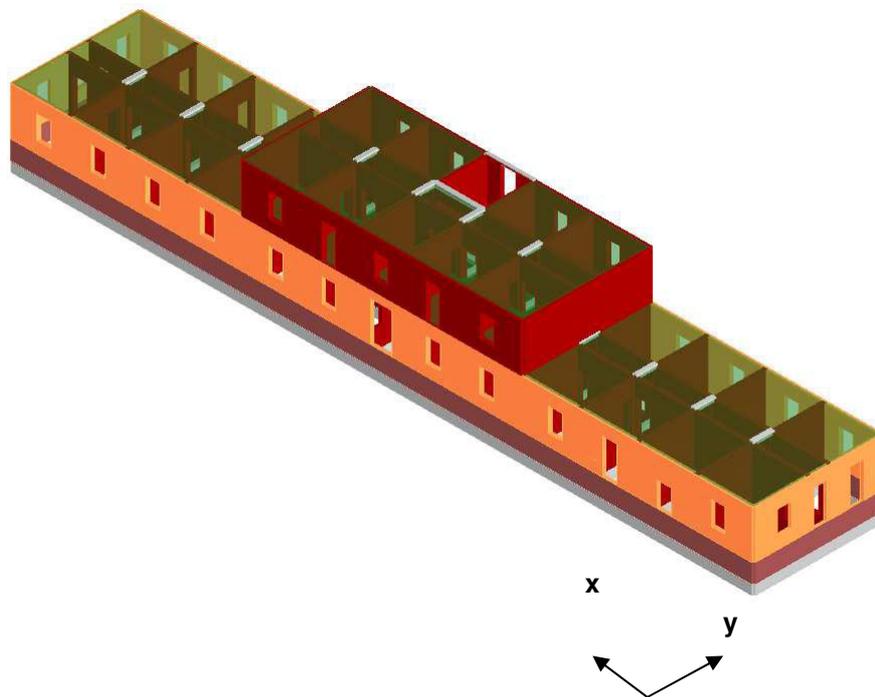


Figura 9 Modello della struttura.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Si riportano di seguito le pareti caratterizzanti il modello ad elementi finiti in cui è possibile distinguere: maschi murari (zone marroni), fasce (zone verdi) e zone rigide (zone azzurre):

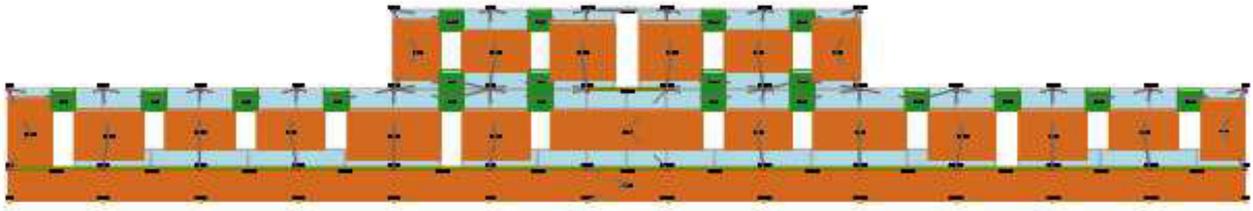


Figura 10 Parete 1.

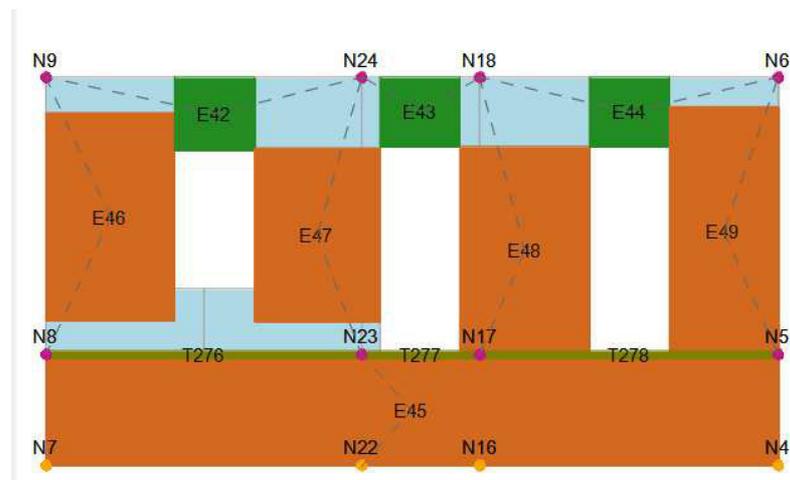


Figura 11 Parete 2.

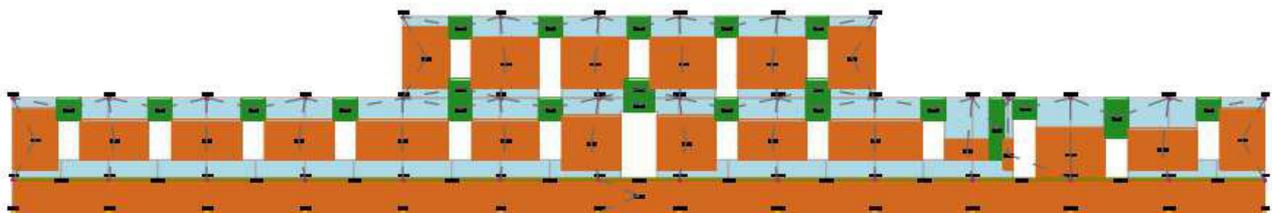


Figura 12 Parete 3.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

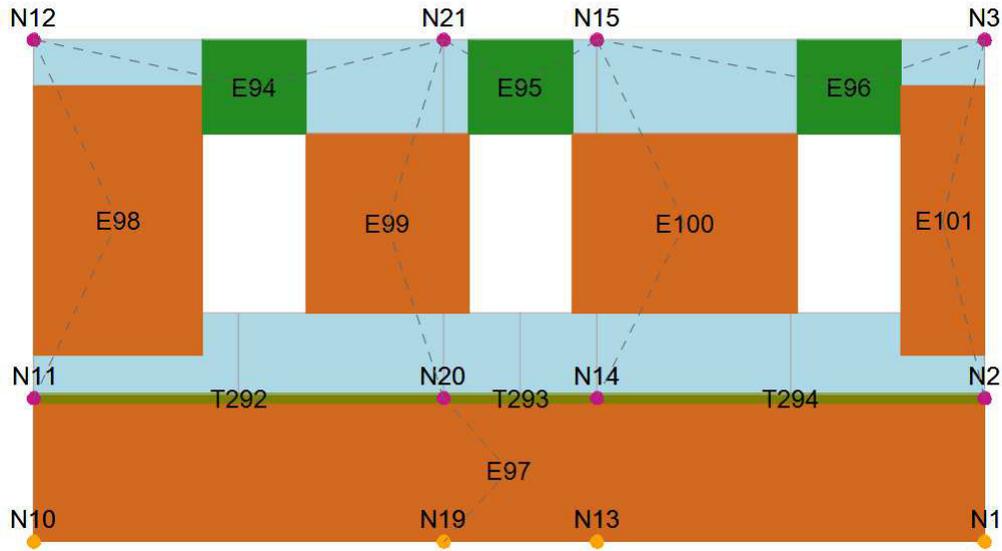


Figura 13 Parete 4.

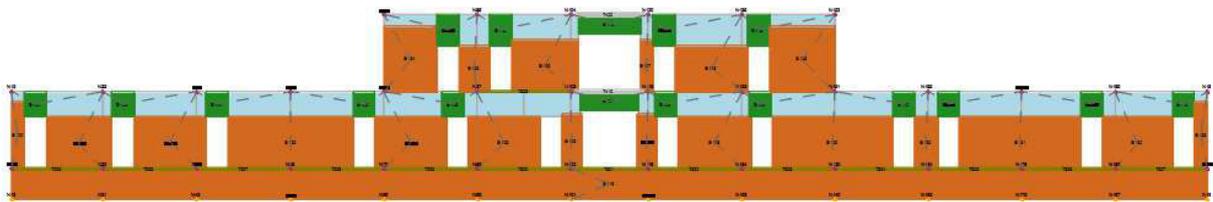


Figura 14 Parete 5.

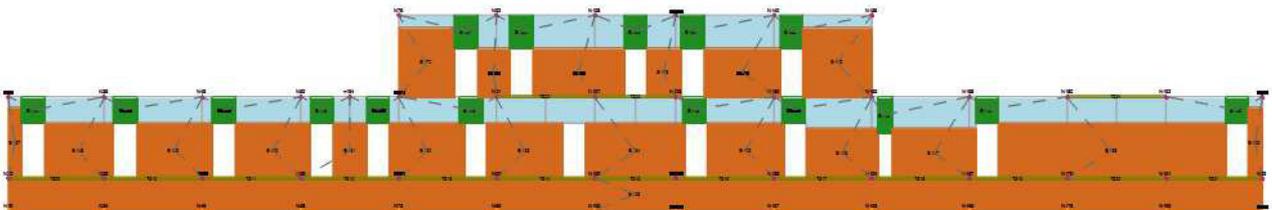


Figura 15 Parete 6.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

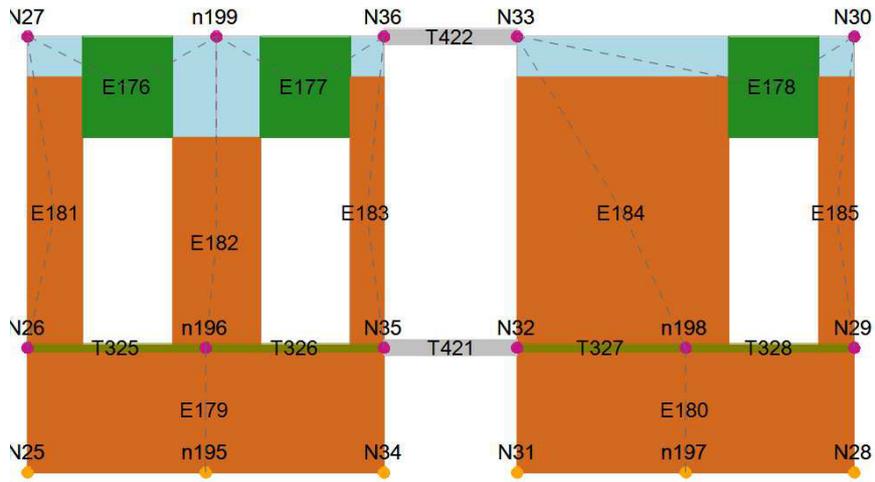


Figura 16 Parete 7.

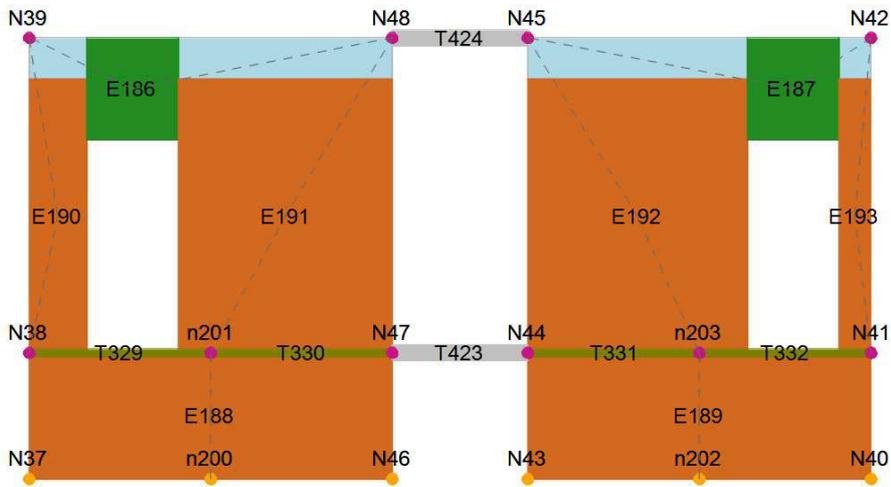


Figura 17 Parete 8.

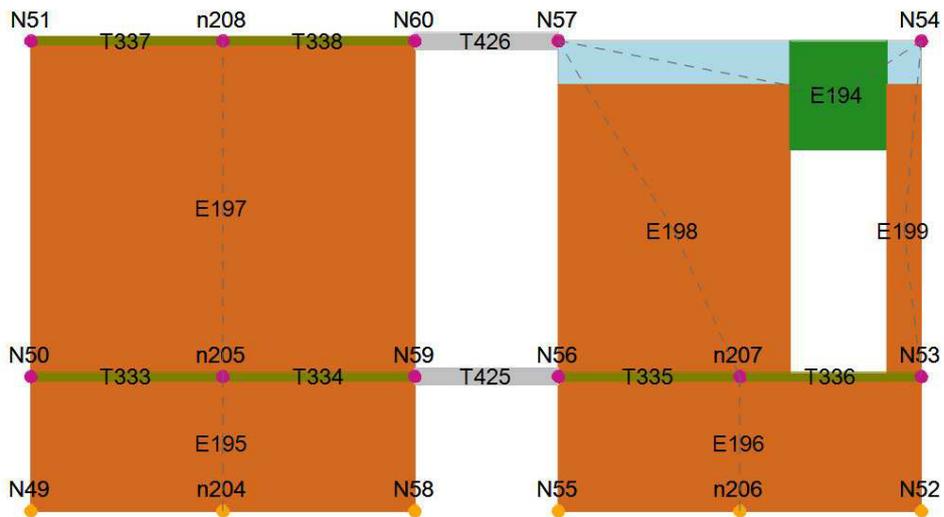


Figura 18 Parete 9.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

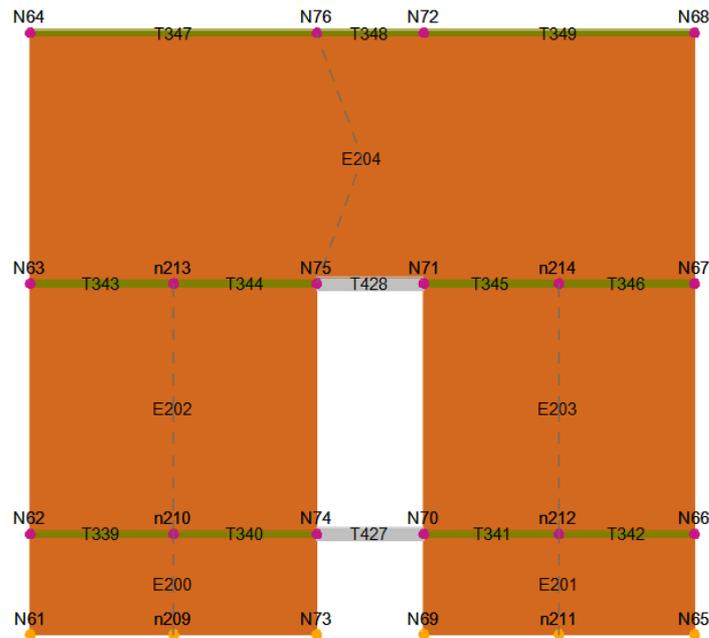


Figura 19 Parete 10.

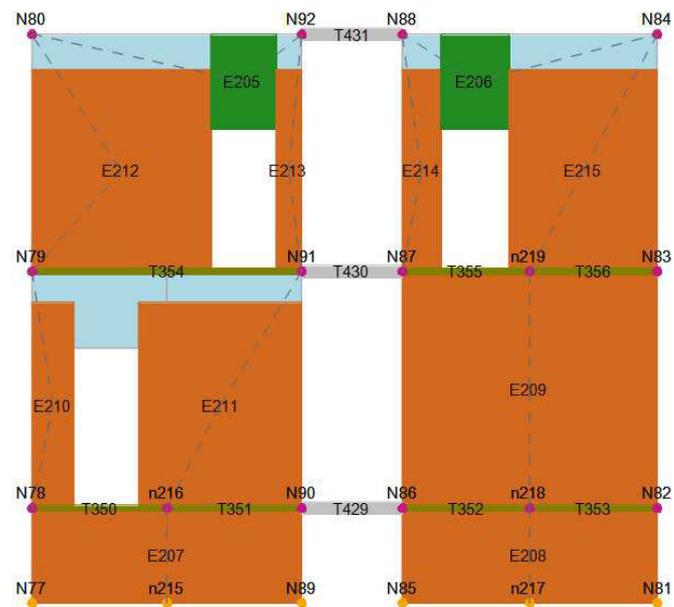


Figura 20 Parete 11.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

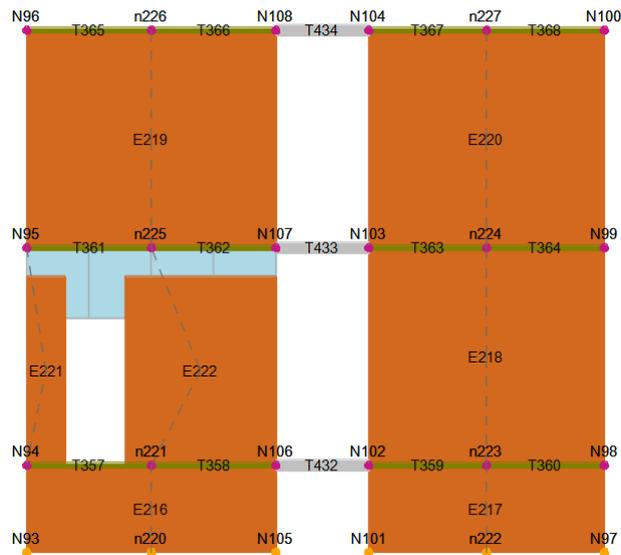


Figura 21 Parete 12.

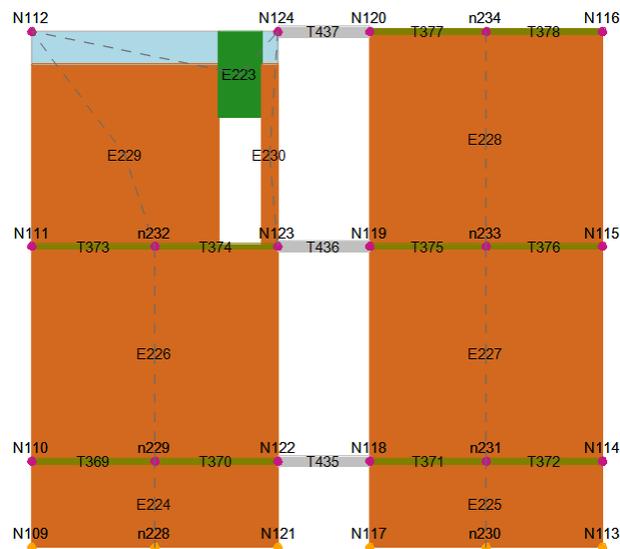


Figura 22 Parete 13.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

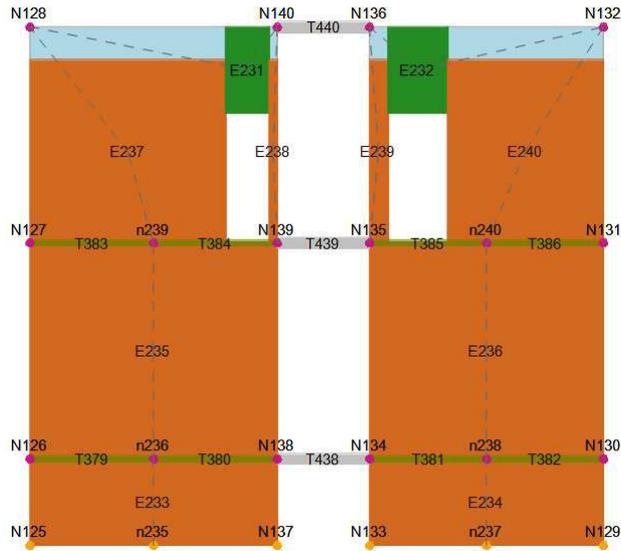


Figura 23 Parete 14.

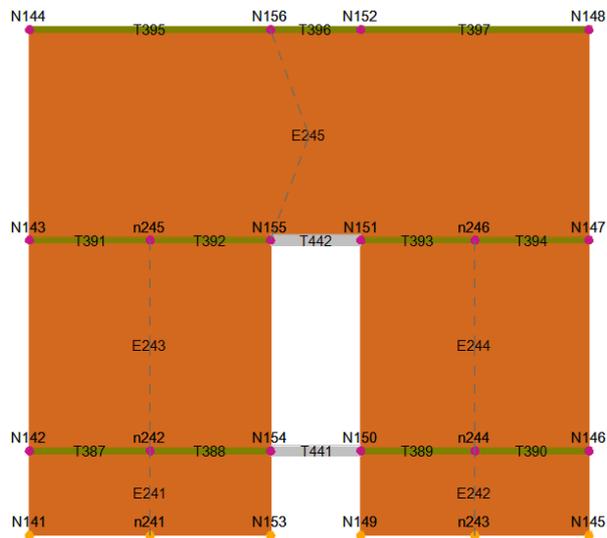


Figura 24 Parete 15.

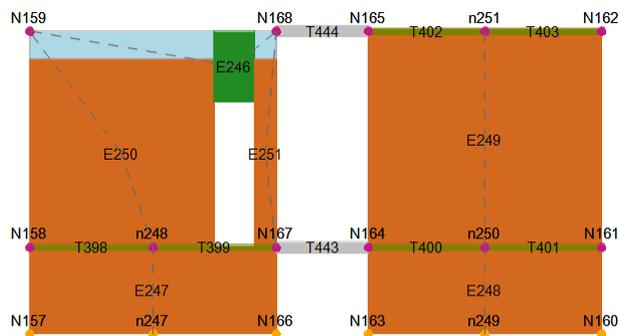


Figura 25 Parete 16.

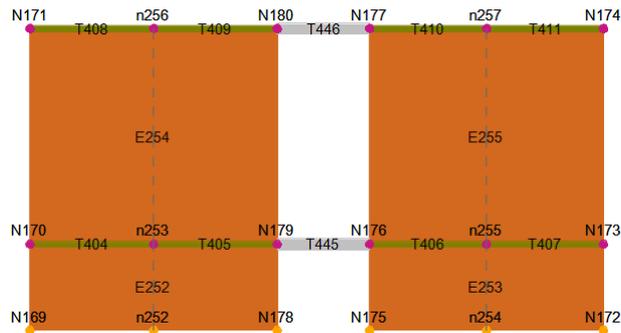


Figura 26 Parete 17.

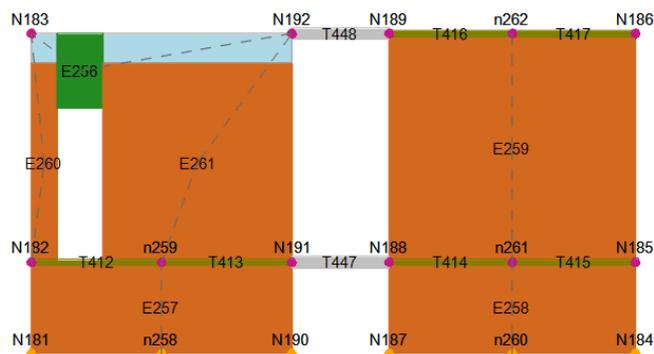


Figura 27 Parete 18.

Si riportano di seguito i livelli in cui la struttura è stata suddivisa per essere modellata:

Livello	Visibile	Descrizione	Altezza [cm]	Quota [cm]	Q vento [daN/m ²]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Livello 1	160	160	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Livello 2	400	560	0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Livello 3	400	960	0

Strutture di fondazione ed interazione terreno

Il saggio videoendoscopico in fondazione effettuato evidenzia la presenza di una fondazione in cls di altezza 80 cm come prosecuzione della muratura sovrastante, si ritiene pertanto lecito considerare vincoli ad incastro per i nodi di fondazione nel modello a telaio equivalente.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

3.2 Azioni applicate e definizione delle masse

Pesi propri strutturali

Il peso proprio degli elementi resistenti viene determinato automaticamente dal software di calcolo una volta assegnati geometria e peso specifico per unità di volume del materiale.

Pesi propri e permanenti portati solai

Il peso proprio e il carico permanente portato dei solai è stato così computato:

Solaio di calpestio del piano primo:

SOLAIO LATEROCEMENTO piano 1					
Soletta in c.a. =	100	Kg/m ²	--> spessore =	0.04	m
Elementi in laterizio =	77	Kg/m ²	--> spessore =	0.16	m
			--> larghezza =	0.1	m
Travetti c.a. 10x16cm =	80	Kg/m ²	--> altezza =	0.16	m
			--> interasse =	0.50	m
Peso proprio strutturale =	252	daN/m²			
Pavimento =	30	Kg/m ²	--> spessore =	0.02	m
Massetto =	30	Kg/m ²	--> spessore =	0.02	m
Intonaco =	10	Kg/m ²	--> spessore =	0.01	m
Peso permanente portato =	69	daN/m²			
Peso proprio totale =	321	daN/m²			

Solaio piano di copertura

SOLAIO LATEROCEMENTO DI COPERTURA					
Soletta in c.a. =	100	Kg/m ²	--> spessore =	0.04	m
Elementi in laterizio =	77	Kg/m ²	--> spessore =	0.16	m
			--> larghezza =	0.1	m
Travetti c.a. 10x16cm =	80	Kg/m ²	--> altezza =	0.16	m
			--> interasse =	0.50	m
Peso proprio strutturale =	252	daN/m²			
Pavimento =	30	Kg/m ²	--> spessore =	0.02	m
Massetto =	30	Kg/m ²	--> spessore =	0.02	m
Impermeabilizzante =	10	Kg/m ²			
Intonaco =	10	Kg/m ²	--> spessore =	0.01	m
Peso permanente portato =	79	daN/m²			
Peso proprio totale =	331	daN/m²			

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

Solaio di calpestio di sottotetto

Solaio tipo Sap	110	daN/m ²
-----------------	-----	--------------------

Solaio di copertura

Copertura con doppia orditura lignea e manto di coppi	140	daN/m ²
---	-----	--------------------

Copertura

La copertura a falde è stata introdotta nel modello solamente come apporto di massa.

Carichi accidentali per destinazione d'uso

Le tipologie di sovraccarico accidentale dovuto alle diverse destinazioni d'uso considerate sono definite in base a quanto riportato al punto §3.1.4 del D.M. 14/01/2008:

- **accidentale per ambienti suscettibili di affollamento**, categoria C1, pari a **3.00 KN/m²**
- **accidentale per coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione**, categoria H, pari a **0.5 KN/m²**

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Carico accidentale da neve

Il carico neve viene determinato secondo quanto indicato al punto §3.4 del D.M. 14/01/2008:

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

dove:

- q_s è il carico neve sulla copertura
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura
- q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo per un periodo di ritorno di 50 anni
- C_E è il coefficiente di esposizione
- C_t è il coefficiente termico

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

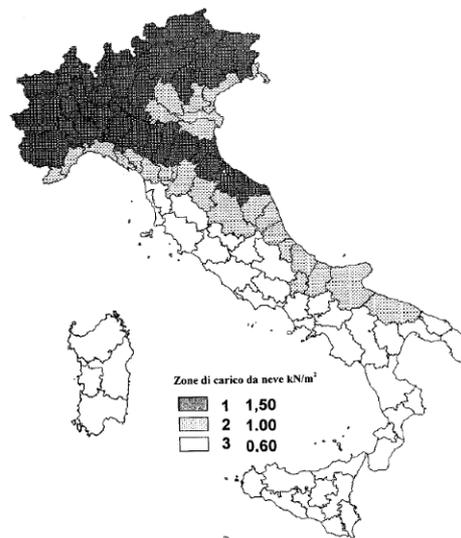


Figura 28 Zone di carico neve.

Risultando Reggio Calabria in zona III - ed il sito in questione caratterizzato da un'altitudine di riferimento $a_s \approx 110$ m il valore caratteristico di neve al suolo risulta paria a:

$$q_{sk} = 600 \text{ N/m}^2$$

Il coefficiente di forma per le coperture, essendo la copertura caratterizzata da un angolo formato con l'orizzontale pari a $\alpha = 16^\circ$, vale $\mu_i = 0,8$ (vedi Tab. 3.4.II).

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Essendo il sito ricadente in un'area in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi la classe di topografia viene assunta come normale; il coefficiente di esposizione viene quindi assunto pari a $C_E = 1$.

Il carico neve risulta quindi paria a:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0.48 \text{ KN/m}^2$$

Azioni sismiche

L'azione sismica è stata valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione, individuata dalle coordinate del sito in esame:

- latitudine: 38°06'25.29" N
- longitudine: 15°39'13.30" E

Successivamente si è proceduto a stimare la vita nominale dell'opera strutturale sulla base delle indicazioni riportate in tabella 2.4.1 del D.M. 14-01-2008, assumendo una vita nominale $V_N=100$ anni per opera di importanza strategica.

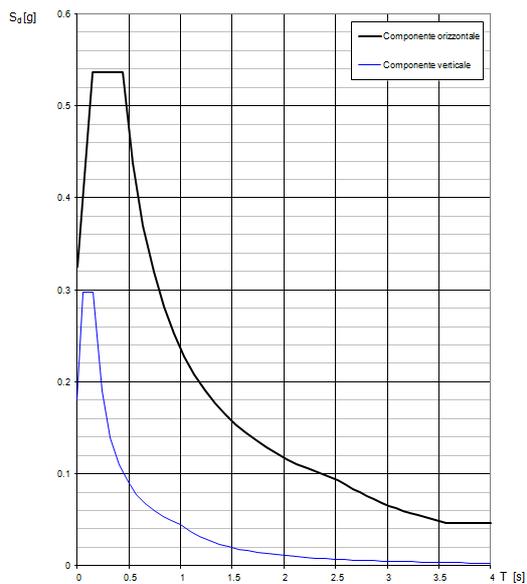
Le azioni sismiche sono state valutate in relazione:

- ad un periodo di riferimento, $V_R=200$, ricavato moltiplicando la vita nominale ($V_N = 100$ anni) per il coefficiente d'uso C_u , assunto pari a 2 (Tab. 2.4 II del D.M. 14-01-2008) per la classe d'uso IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti.
- alla categoria di sottosuolo B, secondo quanto indicato da relazione geotecnica allegata.
- alla classe topografica T2 (Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.IV del D.M. 14-01-2008);

Si riporta di seguito lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLV § 3.2.3.2.1 relativo al sito in esame prodotto dal foglio di calcolo Spettri_NTCver1.0.3.xls

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lin SLV**Spettri_NTCver1.0.3****INNOVATIONS S.R.L.**

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Combinazioni di carico

Con riferimento al punto §8.3 del D.M. 14/01/2008 si sceglie di eseguire sulla struttura in oggetto verifiche per lo Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita definito come al punto §3.2.1 del D.M. 14/01/2008 ed una verifica ai soli carichi verticali in combinazione fondamentale.

La combinazione fondamentale impiegata per le verifiche allo stato limite ultimo dei soli carichi verticali, è stata definita secondo quanto prescritto al punto §2.5.3 del D.M. 14/01/2008:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} + \dots$$

dove:

- ✓ G_i : carichi permanenti suddivisi in pesi propri strutturali (G_1) e non strutturali (G_2)
- ✓ Q_k valore caratteristico per azioni variabili
- ✓ $\gamma_{G1} = 1.3$ coefficiente parziale di sicurezza per pesi propri strutturali
- ✓ $\gamma_{G2} = 1.5$ coefficiente parziale di sicurezza per pesi propri non strutturali
- ✓ $\gamma_{Q1} = 1.5$ coefficiente parziale di sicurezza per carico accidentale principale
- ✓ $\psi_{0i} = 0.7$ coefficiente di combinazione per carico accidentale non principale

La combinazione impiegata per le verifiche con azione sismica, è stata definita secondo quanto prescritto al punto §2.5.3 del D.M. 14/01/2008:

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \dots$$

dove:

- ✓ E : azione sismica
- ✓ G_i : carichi permanenti suddivisi in pesi propri strutturali (G_1) e non strutturali (G_2)
- ✓ Q_k valore caratteristico per azioni variabili
- ✓ $\psi_{2i} = 0,6$ per carico accidentale relativo ad ambiente suscettibile ad affollamento
- ✓ $\psi_{2j} = 0,0$ per carico neve e accidentale da manutenzione per coperture

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

4. Analisi di Vulnerabilità – stato attuale.

4.1 Verifiche per i carichi verticali in stato limite ultimo.

Nel presente paragrafo vengono riportate le verifiche in stato limite ultimo, per i soli carichi verticali.

Verifica strutture verticali

Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le strutture verticali in muratura nei confronti delle azioni verticali.

Le verifiche statiche eseguite sulla struttura in questione sono le seguenti:

Snellezza della muratura

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.4. del D.M.2008.

Si definisce snellezza di una muratura il rapporto h_0/t in cui:

- h_0 : lunghezza libera di inflessione del muro pari a $r \cdot h$;
- t : spessore del muro.
- h : l'altezza interna di piano;
- r : il fattore laterale di vincolo.

La verifica di snellezza risulta soddisfatta se risulta verificata la seguente:

$$h_0/t < 20$$

Eccentricità dei carichi

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2. del D.M.2008.

Tale verifica risulta soddisfatta qualora risultino verificate le seguenti condizioni:

$$e_1/t \leq 0.33$$

$$e_2/t \leq 0.33$$

in cui:

t : spessore del muro

$$e_1 = |e_s| + |e_a|$$

$$e_2 = \frac{e_1}{2} + |e_v|$$

e_s : eccentricità totale dei carichi verticali

e_a : $h/200$

e_v : eccentricità dovuta al vento $e_v = M_v / N$

Verifica a carichi verticali

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2. del D.M.2008.

Tale verifica risulta soddisfatta qualora risulti verificata la seguente:

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

$$N_d \leq N_r$$

in cui:

N_d : carico verticale agente

N_r : carico verticale resistente; $N_r = F \cdot f_d \cdot A$

A : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

f_d : resistenza di calcolo della muratura;

F : coefficiente di riduzione della resistenza del muro

Queste verifiche sono state eseguite in ogni maschio murario della struttura, nelle tre sezioni principali (inferiore, centrale, superiore).

I valori dello sforzo normale resistente saranno calcolabili solamente se le verifiche di snellezza ed eccentricità dei carichi risultano soddisfatte.

Alcune verifiche di rapporto tra Carico assiale di Capacità e carico assiale di Domanda, eseguite secondo il punto §4.5.6 del D.M. 14/01/2008, non risultano soddisfatte, come evidenziato nella tabella sottostante con il colore rosso.

Parete	Maschi rotti	N_d/N_r Max	h_0/t Max	e_1/t Max	e_2/t Max
1	5	1.36	13.33	0.268	0.114
3	10	1.40	13.33	0.268	0.106
2	0	0.57	13.33	0.067	0.067
4	0	0.58	13.33	0.067	0.067
5	0	0.68	13.33	0.178	0.079
6	0	0.71	13.33	0.213	0.075
7	0	0.43	13.33	0.067	0.067
8	0	0.43	13.33	0.067	0.067
9	0	0.42	13.33	0.067	0.067
10	0	0.40	13.33	0.067	0.067
11	0	0.53	13.33	0.067	0.067
12	0	0.64	13.33	0.067	0.067
13	0	0.62	13.33	0.168	0.074
14	0	0.42	13.33	0.067	0.067
15	0	0.49	13.33	0.201	0.078
16	0	0.51	13.33	0.067	0.067
17	0	0.49	13.33	0.067	0.067
18	0	0.45	13.33	0.067	0.067

Figura 29 Schema di riepilogo verifiche statiche.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)

P.IVA 03372370548 – REA PG-284516

Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924

mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

4.2 Verifiche locali cinematiche.

Negli edifici esistenti in muratura spesso avvengono collassi parziali per cause sismiche, in genere per perdita dell'equilibrio di porzioni murarie; la verifica nei riguardi di questi meccanismi, secondo le modalità descritte nel seguito, assume significato se è garantita una certa monoliticità della parete muraria, tale da impedire collassi puntuali per disgregazione della muratura.

Le verifiche con riferimento ai meccanismi locali possono essere svolte tramite l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio cinematico, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematicismo.

L'applicazione del metodo di verifica presuppone quindi l'analisi dei meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione, che possono essere ipotizzati sulla base della conoscenza del comportamento sismico di strutture analoghe, già danneggiate dal terremoto, o individuati considerando la presenza di eventuali stati fessurativi, anche di natura non sismica; inoltre saranno tenute presente la qualità della connessione tra le pareti murarie, la tessitura muraria, la presenza di catene, le interazioni con altri elementi della costruzione o degli edifici adiacenti.

L'approccio cinematico permette inoltre di determinare l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo.

Per ogni possibile meccanismo locale ritenuto significativo per l'edificio, il metodo si articola nei seguenti passi:

- trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile (catena cinematica), attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili in grado di ruotare o scorrere tra loro.
- valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che comporta l'attivazione del meccanismo mediante l'impiego del principio dei lavori virtuali (Circolare617-C8A.4.1).
- Individuare l'accelerazione sismica spettrale di attivazione a^*0 a partire dal moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 (Circolare617-C8A.4.4).

Il metodo impiegato prevede la trasformazione della parete oggetto di verifica in un sistema labile attraverso l'individuazione del corpo rigido definito individuando i possibili piani di frattura. Si considera nulla la resistenza a trazione della muratura ed i corpi in grado di ruotare o scorrere tra loro; per il meccanismo analizzato viene valutato il moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

comporta la sua attivazione.

Per ottenere tale moltiplicatore, a cui va fatto riferimento in fase di verifica, è necessario applicare ai blocchi rigidi che compongono la catena cinematica tutte le azioni che si esercitano e che sono costituite da:

- I pesi propri dei blocchi, applicati nei rispettivi baricentri;
- I carichi verticali portati dagli stessi (pesi propri e sovraccarichi dei solai, delle volte e della copertura e di altri elementi murari non considerati nel modello strutturale);
- Un sistema di forze orizzontali proporzionali ai carichi verticali portati, se queste non sono efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;
- Eventuali ulteriori forze esterne, ad esempio quelle trasmesse da catene metalliche o da altri elementi metallici svolgenti la stessa funzione.
- Eventuali forze interne, ad esempio le azioni legate all'ingranamento tra i conci murari

Assegnata una rotazione virtuale θ_k al generico blocco k , è possibile determinare in funzione della geometria della struttura, gli spostamenti delle diverse forze applicate nella rispettiva direzione. Il moltiplicatore α_0 si ottiene applicando il *Principio dei Lavori Virtuali*, in termini di spostamenti, uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne ed interne applicate al sistema in corrispondenza dell'atto di moto virtuale:

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

dove:

- n è il numero di tutte le forze peso applicate ai diversi blocchi della catena cinematica;
- m è il numero di forze peso non direttamente gravanti sui blocchi le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;
- o è il numero di forze esterne, non associate a masse, applicate ai diversi blocchi;
- P_i è la generica forza peso applicata (peso proprio del blocco, applicato nel suo baricentro, o un altro peso portato);

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

- P_j è la generica forza peso, non direttamente applicata sui blocchi, la cui massa, per effetto dell'azione sismica, genera una forza orizzontale sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmessa ad altre parti dell'edificio;
- $\delta_{x,i}$ è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell'i-esimo peso P_i , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;
- $\delta_{x,j}$ è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell'j-esimo peso P_j , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;
- $\delta_{y,i}$ è lo spostamento virtuale verticale del punto di applicazione dell'i-esimo peso P_i , assunto positivo se verso l'alto;
- F_h è la generica forza esterna (in valore assoluto), applicata ad un blocco;
- δ_h è lo spostamento virtuale del punto dove è applicata la h-esima forza esterna, nella direzione della stessa, di segno positivo se con verso discorde;
- L_{fi} è il lavoro di eventuali forze interne.

A questo punto si valuta l'accelerazione sismica spettrale di attivazione del meccanismo a_0^* corrispondente ad α_0 :

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC}$$

essendo:

- M^* la massa partecipante valutata come indicato al punto § C8A.4.2.2 della Circolare n°617 del 02/02/2009
- FC è il fattore di confidenza. Nel caso in cui per la valutazione del moltiplicatore a non si tenga conto della resistenza a compressione della muratura, il fattore di confidenza da utilizzare sarà quello relativo al livello di conoscenza LC1.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

La circolare 2 Febbraio 2009, al punto §C8A.4.2.3 espone poi le modalità di verifica dei cinematismi di collasso, ed è riportato quanto segue:

Stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV)

Nel caso in cui la verifica riguardi un elemento isolato o una porzione della costruzione comunque sostanzialmente appoggiata a terra la condizione di superamento della verifica è fornita dalla seguente disequazione:

$$a_0^* \geq a_{0\text{-min}}^* = \frac{a_g \cdot (P_{VR}) \cdot S}{q}$$

Nel caso in cui il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta ad una certa quota, si deve tener conto del fatto che l'accelerazione assoluta alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematismo è in genere amplificata rispetto a quella al suolo; per questo il superamento della verifica è fornita dalla seguente disequazione:

$$a_0^* \geq a_{0\text{-min}}^* = \max \left(\frac{a_g \cdot (P_{VR}) \cdot S}{q}; \frac{S_e(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma}{q} \right)$$

dove:

- $S_e(T_1)$ è lo spettro elastico definito nel § 3.2.3.2.1 delle NTC, funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto (nel caso di SLV P_{VR} vale 10%) e del periodo di riferimento VR come definiti al § 3.2. delle NTC, calcolato per il periodo T_1 ;

NOTA: in via approssimativa, a condizione che il periodo del primo modo di vibrare principale (T_1) non superi $2.5 \cdot T_C$ o T_D e che la costruzione sia regolare in altezza, il periodo T_1 può essere così valutato:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

Per le murature $C_1 = 0,050$

- $\Psi(Z)$ è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto $\Psi(Z) = Z / H$ dove H è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;
- Z è l'altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;

INNOVATIONS S.R.L.

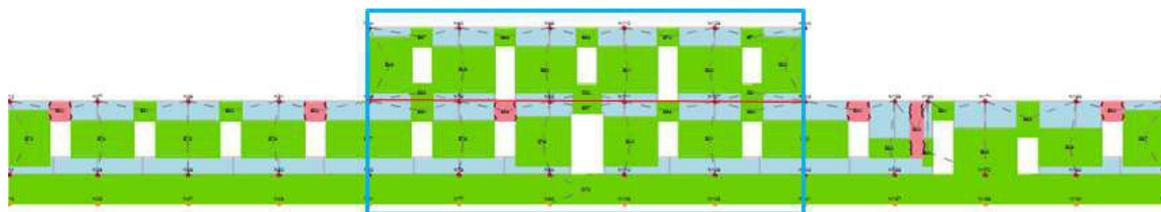
Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrsl.it - PEC: innovationsrsl@pec.it

- γ è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto $\gamma = 3N / (2N + 1)$ con N numero di piani dell'edificio. ”

Le verifiche di seguito descritte sono state eseguite con il software C.I.N.E. ver 1.0.4 (Condizioni d'Instabilità Negli Edifici).

Verifica di ribaltamento della parete

Si riporta un'immagine della facciata considerata nel meccanismo di ribaltamento verificato con indicati i carichi in combinazione sismica provenienti dai solai.



PROSPETTO SUD-OVEST

Figura 30 Meccanismo di ribaltamento di parete.

Solaio in latero cemento 1°L

Carico permanente = 321 daN/m²

Carico accidentale = 300 daN/m²

Moltiplicatore ψ_{2i} = 0.6

Lunghezza d'influenza = 2.35 m

Lunghezza di carico = 23.7 m

Carico Sismico = 279 KN

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)

P.IVA 03372370548 – REA PG-284516

Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924

mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

Solaio in latero cemento 2°LCarico permanente = 331 daN/m²Carico accidentale = 100 daN/m²Moltiplicatore ψ_{2i} = 0

Lunghezza d'influenza = 2.44 m

Lunghezza di carico = 23.7 m

Carico Sismico = 191 KN

Di seguito vengono riportate le grandezze geometriche caratterizzanti il problema e definite come dati di input nel software di calcolo.

DATI INIZIALI	Elevazione	GEOMETRIA DELLA FACCIATA (*)					Peso specifico della muratura γ_i [kN/m ³]	Arretramento della cerniera attorno alla quale avviene il ribaltamento rispetto al lembo esterno della parete [m]
		Altezza delle fasce murarie		Larghezza delle fasce murarie				
		Quota del sottofinestra [m]	Quota del soprafinestra [m]	Larghezza della fascia sottofinestra al netto delle aperture [m]	Larghezza della fascia intermedia al netto delle aperture [m]	Larghezza della fascia soprafinestra al netto delle aperture [m]		
	1	2.55	4.55	21.90	17.30	23.70	19.0	
	2	0.95	2.95	21.50	18.20	23.70	18.0	
	3							
CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEI MACROELEMENTI								
	Elevazione	Spessore della parete al piano i-esimo S_i [m]	Altezza di interpiano al piano i-esimo h_i [m]	Braccio orizzontale del carico del solaio al piano i-esimo rispetto alla cerniera cilindrica d_i [m]	Braccio orizzontale dell'azione di archi o volte al piano i-esimo rispetto alla cerniera cilindrica d_{vi} [m]	Quota del punto di applicazione di azioni trasmesse da archi o volte al piano i-esimo h_{vi} [m]	Quota del baricentro della parete al piano i-esimo Y_{Gi} [m]	Quota del baricentro della parete al piano i-esimo (**) Y_{Gi} [m]
	1	0.30	5.60	0.20			2.78	
	2	0.30	4.00	0.20			2.05	
	3						0.00	
AZIONI SUI MACROELEMENTI								

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)

P.IVA 03372370548 – REA PG-284516

Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924

mail: info@innovationsrsl.it - PEC: innovationsrsl@pec.it

	Elevazione	Peso proprio della parete al piano i-esimo W_i [kN]	Peso proprio della parete al piano i-esimo (**) W_i [kN]	Carico trasmesso dal solaio al piano i-esimo P_{Si} [kN]	Spinta statica della copertura P_H [kN]	Componente verticale della spinta di archi o volte al piano i-esimo F_{Vi} [kN]	Componente e orizzontale della spinta di archi o volte al piano i-esimo F_{Hi} [kN]	Azione del tirante al piano i-esimo T_i [kN]
	1	657.4		279.0				
	2	441.2		191.0				
	3	0.0						
	4	0.0						

DATI DI CALCOLO	MOMENTO DELLE AZIONI STABILIZZANTI					
	Ribaltamento delle elevazioni:	Peso proprio delle pareti [kNm]	Carico dei solai [kNm]	Azione di archi o volte [kNm]	Azione dei tiranti [kNm]	
	2 - 1	164.8	94.0	0.0	0.0	
	2	66.2	38.2	0.0	0.0	
	-	0.0	0.0	0.0	0.0	
	-	0.0	0.0	0.0	0.0	
DATI DI CALCOLO	MOMENTO DELLE AZIONI RIBALTANTI					
	Ribaltamento delle elevazioni:	Inerzia delle pareti [kNm]	Inerzia dei solai [kNm]	Inerzia di archi o volte [kNm]	Spinta statica di archi o volte [kNm]	Spinta statica della copertura [kNm]
	2 - 1	5199.4	3396.0	0.0	0.0	0.0
	2	902.6	764.0	0.0	0.0	0.0
	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

MULTIPLICATORE α_0	Ribaltamento delle elevazioni:	Valore di α_0	Fattore di Confidenza FC	Massa partecipante M^*	Frazione massa partecipante e^*	Accelerazione spettrale a_0^* [m/sec ²]
	2 - 1	0.030	1.35	131.626	0.823	0.266
	2	0.063		57.756	0.896	0.508
	-	N.C.		0.000	0.000	N.C.
	-	N.C.		0.000	0.000	N.C.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

PARAMETRI DI CALCOLO	Fattore di struttura q		2.00	
	Coefficiente di amplificazione topografica S_T		1.20	
	Categoria suolo di fondazione		B	
	PGA di riferimento $a_g(P_{VR})$ [g]		0.231	
	Fattore di amplificazione massima dello spettro F_O		2.478	
	Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro T_C^* [sec]		0.318	
	Fattore di smorzamento η		0.667	
	Altezza della struttura H [m]		9.60	
	Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S		1.200	
	Coefficiente C_C		1.389	
	Fattore di amplificazione locale del suolo di fondazione S		1.680	
	Numero di piani dell'edificio N		3	
	Coefficiente di partecipazione modale γ		1.286	
	Primo periodo di vibrazione dell'intera struttura T_1 [sec]		0.342	
	Ribaltamento delle elevazioni:	Baricentro delle linee di vincolo Z [m]	$\psi(Z) = Z/H$	$a_{g(SLV)}$ (C8A.4.9)
2 - 1			0.032	
2	5.60	0.583	0.062	1.354
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

PGA-SLV	Ribaltamento delle elevazioni:	$a_{g(SLV)}$ min(C8DA.4.9; C8A.4.10)
	2 - 1	0.032
	2	0.050
	-	-
	-	-

L'indicatore di rischio sismico minimo, calcolato come rapporto tra i valori di PGA di capacità e domanda per il meccanismo di ribaltamento di facciata studiato risulta:

$$\alpha = \text{PGA}_c / \text{PGA}_d = 0.14$$

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

4.3 Verifica globale con analisi statica non lineare.

Premessa

L'analisi statica non lineare consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali distribuite, ad ogni livello della costruzione, proporzionalmente alle forze d'inerzia ed aventi risultante il taglio alla base (F_b).

Tali forze sono scalate in modo tale 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_c) di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione (sono esclusi eventuali torrini). Il diagramma $F_b - d_c$ rappresenta la curva di capacità della struttura.

Eseguendo questo tipo di analisi per un edificio esistente in muratura, si può prescindere dalla massa partecipante caratterizzante i modi fondamentali nelle due direzioni considerate principali, secondo quanto indicato al punto §C8.7.1.4 della Circolare n°617 del 02/02/2009, assegnando come distribuzioni principale e secondaria, rispettivamente, la prima distribuzione del Gruppo 1 e la prima del Gruppo 2 indicate al punto §7.3.4.1 del D.M. 14/01/2008:

- Gruppo 1: distribuzione proporzionale alle forze statiche di cui al § 7.3.3.2;
- Gruppo 2: distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione.

L'analisi richiede che al sistema strutturale reale venga associato un sistema strutturale equivalente ad un grado di libertà.

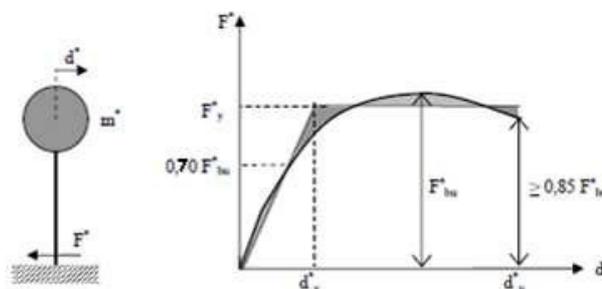


Figura 31 Sistema a diagramma bilineare e equivalente.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

La forza F^* e lo spostamento d^* del sistema equivalente sono legati alle corrispondenti grandezze F_b e d_c del sistema reale dalle relazioni:

$$F^* = F_b / \Gamma$$

$$d^* = d_c / \Gamma$$

dove Γ è il “fattore di partecipazione modale” definito dalla relazione:

$$\Gamma = \frac{\varphi^T M \tau}{\varphi^T M \varphi}$$

Il vettore τ è il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sisma considerata; il vettore φ è il modo di vibrare fondamentale del sistema reale normalizzato ponendo $d_c = 1$; la matrice M è la matrice di massa del sistema reale.

Alla curva di capacità del sistema equivalente occorre ora sostituire una curva bilineare avente un primo tratto elastico ed un secondo tratto perfettamente plastico. Detta F_{bu} la resistenza massima del sistema strutturale reale ed $F^*_{bu} = F_{bu} / \Gamma$ la resistenza massima del sistema

equivalente, il tratto elastico si individua imponendone il passaggio per il punto $0,6 F^*_{bu}$ della curva di capacità del sistema equivalente, la forza di plasticizzazione F_y^* si individua imponendo l'uguaglianza delle aree sottese dalla curva bilineare e dalla curva di capacità per lo spostamento massimo d_u^* corrispondente ad una riduzione di resistenza $\leq 0,15 F^*_{bu}$.

Il periodo elastico del sistema bilineare è dato dall'espressione:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

dove $m^* = \Phi^T M \tau$ e k^* è la rigidezza del tratto elastico della bilineare. Nel caso in cui il periodo elastico della costruzione T^* risulti $T^* \geq T_c$ la domanda in spostamento per il sistema anelastico è assunta uguale a quella di un sistema elastico di pari periodo (v. §3.2.3.2.3 delle NTC):

$$d^*_{max} = d^*_{e,max} = S_{De}(T^*)$$

Nel caso in cui $T^* < T_c$ la domanda in spostamento per il sistema anelastico è maggiore di quella di un sistema elastico di pari periodo e si ottiene da quest'ultima mediante l'espressione:

$$d^*_{max} = \frac{d^*_{e,max}}{q} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right] \geq d^*_{e,max}$$

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

dove $q^* = S_e(T^*) m^* / F_y$ rappresenta il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

Se risulta $q^* \leq 1$ allora si ha $d^*_{\max} = d^*_{e,\max}$.

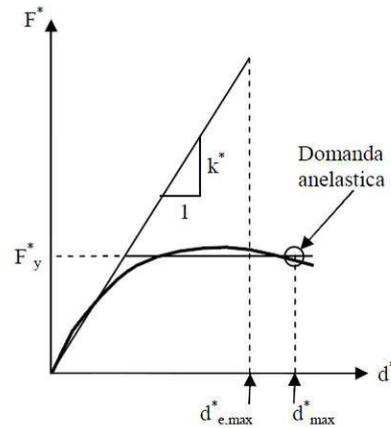
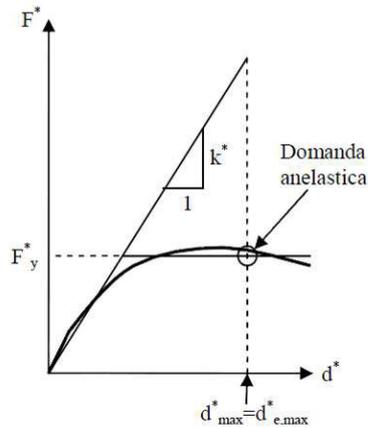


Figura 32 Spostamento di riferimento per $T > T_c$. Figura 33 Spostamento di riferimento per $T < T_c$.

Gli effetti torsionali accidentali sono considerati nel modo previsto al § 7.2.6 delle NTC.

Una volta trovata la domanda in spostamento d^*_{\max} per lo stato limite in esame si verifica che sia $d^*_{\max} < d^*_u$ e si procede alla verifica della compatibilità degli spostamenti per gli elementi/meccanismi duttili e delle resistenze per gli elementi/meccanismi fragili.

Inoltre viene valutato anche il rapporto tra il valore limite, pari a 3, del rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente e quello calcolato nell'analisi.

L'azione sismica verrà applicata, per ciascuna direzione, in entrambi i possibili versi, con le relative eccentricità e verranno considerati gli effetti più sfavorevoli derivanti dalle diverse casistiche d'analisi.

Nella verifica con analisi non lineare, allo **Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita**, lo spostamento ultimo per azioni nel piano di ciascun pannello sarà assunto pari a 0,4 % dell'altezza del pannello, nel caso di rottura per taglio, e pari a 0,6%, nel caso di rottura per pressoflessione. I predetti limiti sono definiti al netto degli spostamenti dovuti ad un eventuale moto rigido del pannello (ad esempio conseguente alla rotazione della base), e si incrementano di un'aliquota fino al 100% nel caso di rottura per pressoflessione di pannelli che esibiscono un comportamento a mensola.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Nel caso in cui sia richiesta la verifica per lo Stato Limite di Esercizio, i valori limite di spostamento di interpiano consigliati per la verifica allo Stato limite di danno sono quelli forniti al § 7.3.7.2 delle NTC, riportati di seguito:

- per costruzioni con struttura portante in muratura ordinaria 0,003 h;
- per costruzioni con struttura portante in muratura armata 0,004 h.

I valori limite di spostamento di interpiano consigliati per la verifica Stato Limite di Operatività sono i 2/3 di quelli per lo Stato limite di danno.

Per le analisi condotte nelle direzioni principali definite X,Y, per ogni eccentricità e per le due tipologie di forzanti, i risultati sono:

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Du SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	α SLV	α SLD	α SLO
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	0.00	3.29	1.88	2.27	0.76	1.64	0.52	1.64	0.703	1.496	1.981
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	0.00	5.43	1.58	4.32	1.65	0.74	1.10	0.74	0.392	0.596	0.785
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	0.00	4.50	2.30	2.68	1.13	1.64	0.72	1.64	0.627	1.239	1.638
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	0.00	6.68	1.94	4.35	2.12	1.16	1.46	1.16	0.378	0.645	0.851
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	0.00	5.60	3.45	3.91	1.70	1.24	1.13	1.24	0.673	0.803	1.061
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	0.00	7.41	2.71	5.97	2.49	2.28	1.78	2.28	0.417	0.929	1.236
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	0.00	5.46	1.39	4.04	1.66	0.99	1.10	0.99	0.363	0.706	0.931
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	0.00	6.84	1.90	4.46	2.22	1.90	1.55	1.90	0.360	0.885	1.172
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	52.76	3.28	1.75	2.31	0.77	1.63	0.52	1.63	0.674	1.486	1.968
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	-52.76	3.29	1.77	2.26	0.75	1.59	0.52	1.59	0.680	1.469	1.944
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	52.76	5.25	1.58	4.38	1.58	0.85	1.05	0.85	0.400	0.664	0.877
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	-52.76	5.45	1.53	4.29	1.65	0.74	1.10	0.74	0.384	0.598	0.788
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	52.76	4.48	2.11	2.65	1.12	2.11	0.72	2.11	0.598	1.470	1.947
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	-52.76	4.51	2.30	2.68	1.14	1.47	0.72	1.47	0.627	1.156	1.527
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	52.76	6.69	1.99	4.33	2.13	1.21	1.46	1.21	0.384	0.664	0.876
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	-52.76	6.68	1.89	4.28	2.12	1.35	1.46	1.35	0.372	0.716	0.945
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	307.20	5.71	2.81	3.94	1.75	1.39	1.17	1.21	0.566	0.850	1.023
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	-307.20	5.65	2.37	4.16	1.74	1.32	1.17	1.32	0.500	0.823	1.089
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	307.20	7.50	2.41	6.59	2.53	2.04	1.82	2.04	0.371	0.830	1.104
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	-307.20	7.36	2.03	6.38	2.48	1.41	1.77	1.41	0.332	0.627	0.831
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	307.20	5.40	1.28	3.85	1.62	1.06	1.07	1.01	0.355	0.756	0.967
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	-307.20	5.61	1.21	4.52	1.74	0.91	1.18	0.91	0.318	0.639	0.843
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	307.20	6.97	2.71	4.69	2.28	2.62	1.60	2.03	0.454	1.123	1.209
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-307.20	7.00	1.51	5.20	2.31	1.51	1.63	1.51	0.292	0.713	0.944

L'indicatore di rischio sismico minimo calcolato nelle analisi ed espresso come rapporto tra la PGA di capacità e PGA di domanda, risulta:

$$\alpha = \text{PGA}_C / \text{PGA}_D = 0.292$$

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Tale valore è riferito all'analisi n°24 in direzione -Y, con forzante proporzionale al primo modo e con eccentricità.

Si riportano i dettagli dell'analisi riportanti le grandezze relative al sistema equivalente ad un grado di libertà, i valori di PGA e TR (tempo di ritorno) utili a definire gli indicatori di rischio sismico ed il nodo di controllo scelto nell'analisi a spinta:

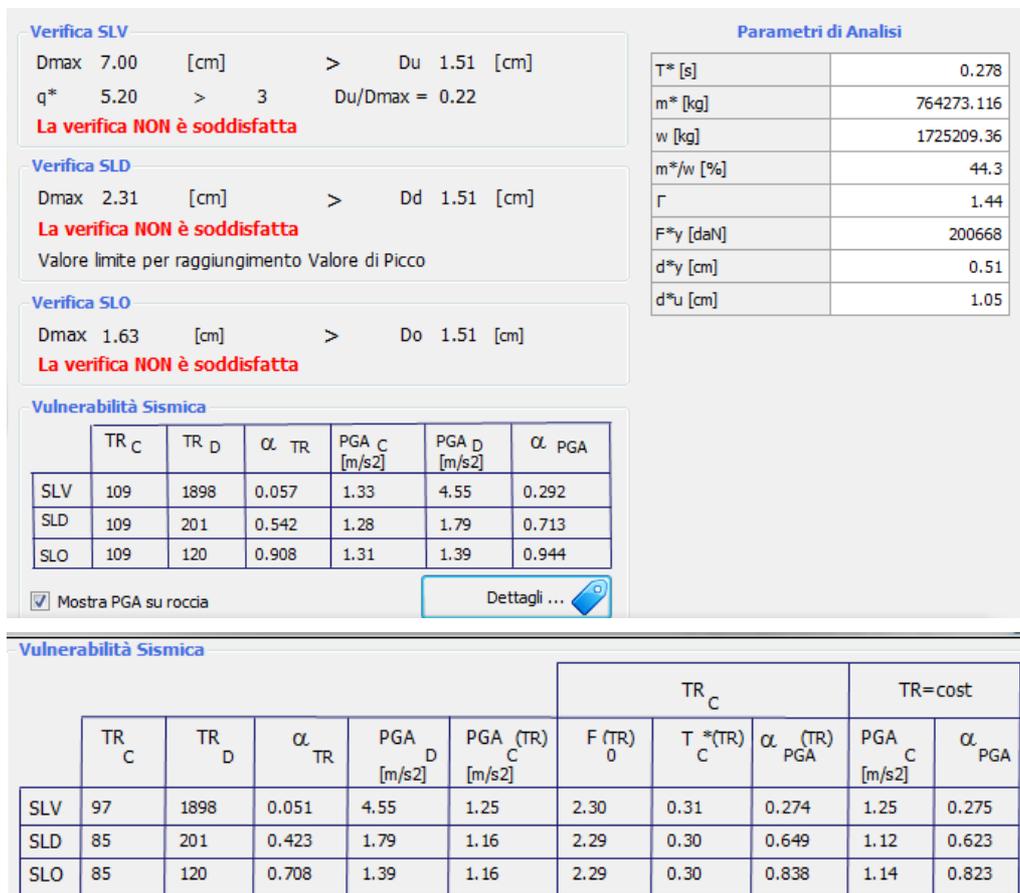
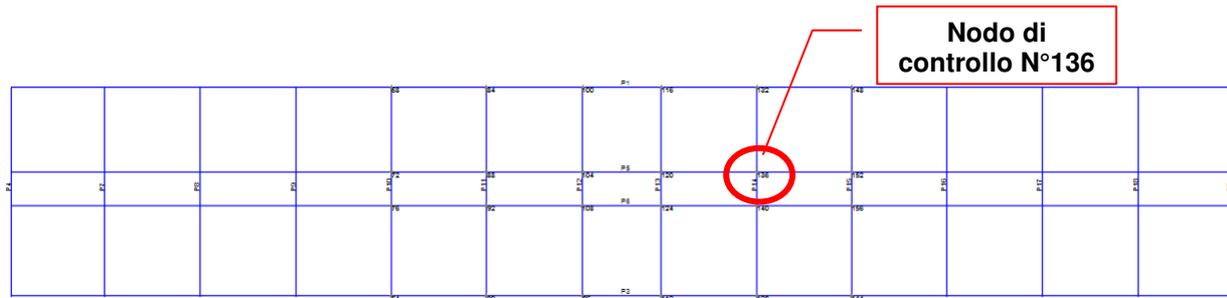


Figura 34 Dettagli analisi non lineare n°24

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

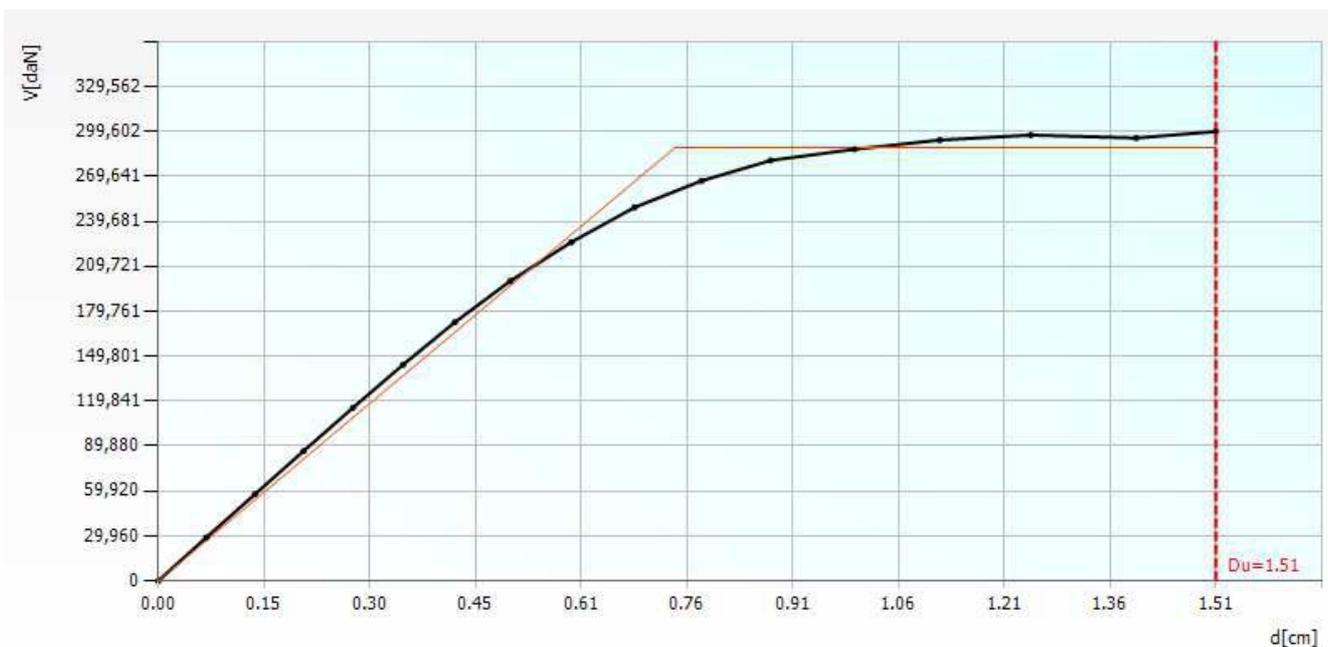


Figura 35 Curva di push-over analisi non lineare n°24

Si riporta ora lo stato di danneggiamento delle pareti a fine analisi, determinato dal raggiungimento prevalente della rottura a pressoflessione degli elementi resistenti.

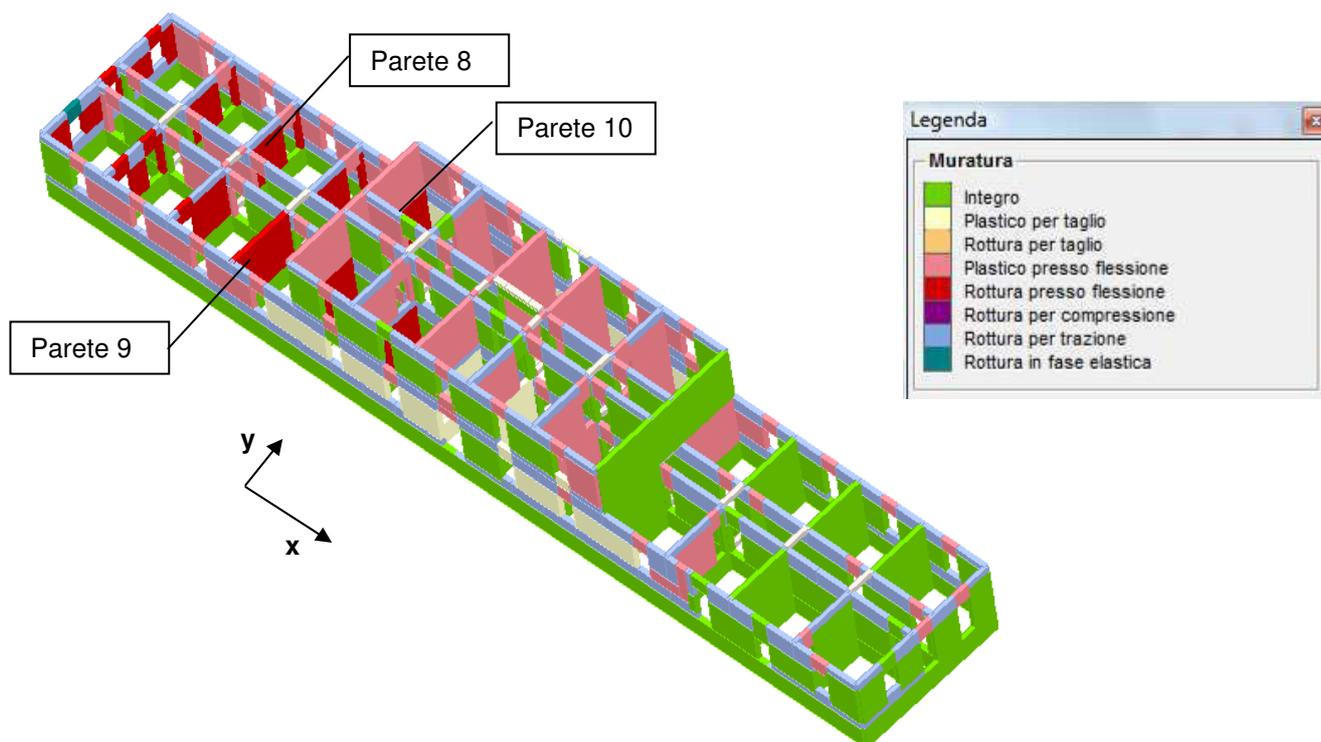


Figura 36 Modello 3D con stati di danneggiamento maschi murari in dir. -Y nell' analisi non lineare n°24

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrl.it - PEC: innovationsrl@pec.it

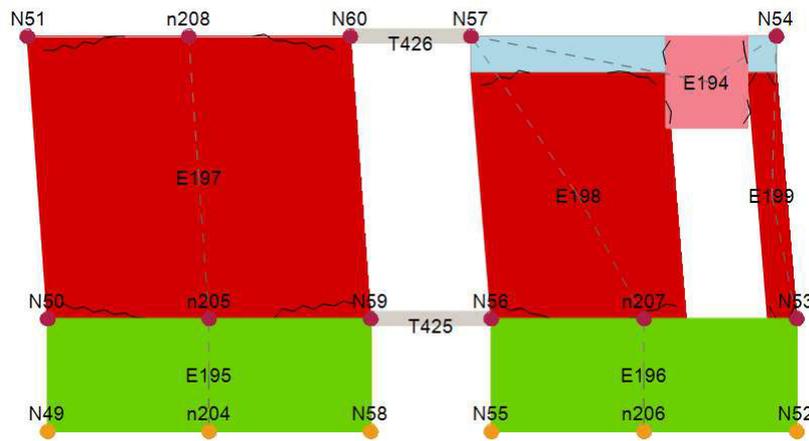


Figura 37 Stato di danneggiamento parete 9 nell' analisi non lineare n°24.

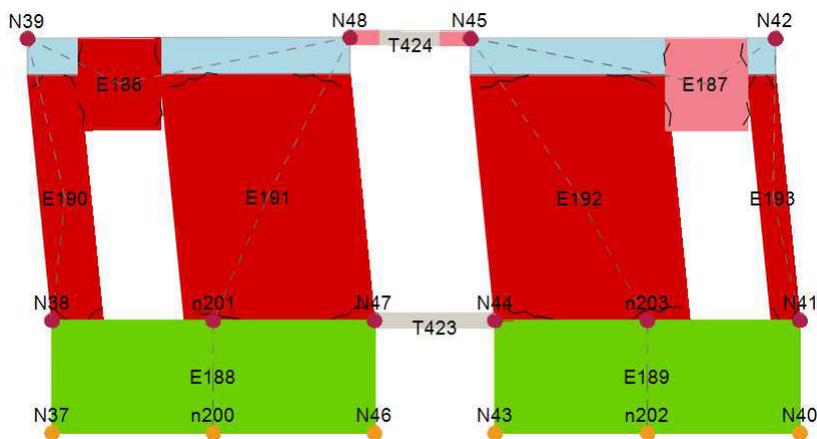


Figura 38 Stato di danneggiamento parete 8 nell' analisi non lineare n°24.

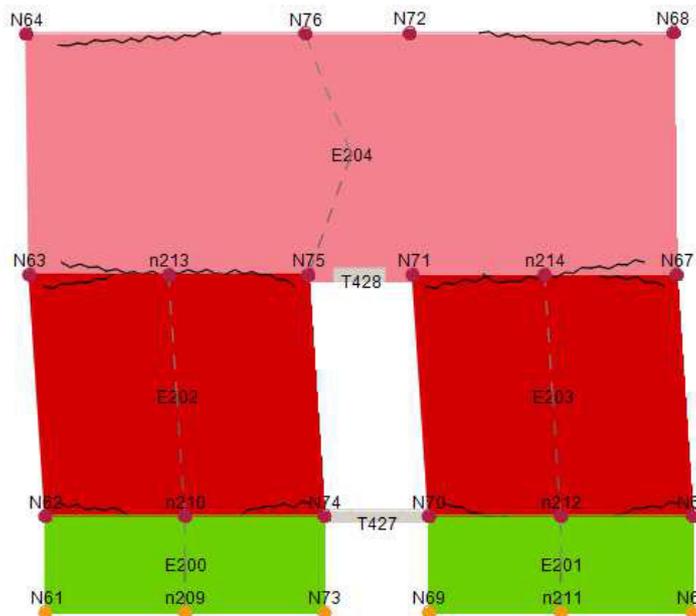


Figura 39 Stato di danneggiamento parete 10 nell' analisi non lineare n°24.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
 P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
 Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
 mail: info@innovationsrll.it - PEC: innovationsrll@pec.it

5. Riepilogo risultati.

Il fabbricato oggetto della presente relazione è il **corpo C** del del compendio demaniale denominato "**EX CASERMA DUCA D'AOSTA**" in Reggio Calabria.

Le verifiche SLU delle strutture verticali risultano non soddisfatte.

Per quanto riguarda le verifiche di vulnerabilità sismica si riportano i valori degli indicatori di **rischio sismico minimo** calcolati:

- Verifiche cinematiche locali --> . $\alpha_{SLV} = 0,14$
- Verifiche del comportamento globale --> . $\alpha_{SLV} = 0,292$

La struttura non presenta quindi un livello di sicurezza adeguato contro l'azione sismica espressa nei termini indicati dalla normativa vigente (D.M. 14/01/2008).

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it

Allegato 1 – Validazione software 3Muri.

La validazione del codice di calcolo **3Muri** viene prodotta in formato digitale all'interno del CD contenente tutti gli elaborati.

INNOVATIONS S.R.L.

Via Yuri Gagarin, 69 (piano primo) – 06073 S. Mariano (PG)
P.IVA 03372370548 – REA PG-284516
Tel. +39.075.5178358 – Fax +39.075.5176924
mail: info@innovationsrli.it - PEC: innovationsrli@pec.it