



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO

CHIETI – PESCARA

Dipartimento di Ingegneria e Geologia

Corso di Laurea in Ingegneria delle Costruzioni

Classe LM-24

Tesi di Laurea Sperimentale in Costruzioni in Zona Sismica

**AGGIORNAMENTO DI UN METODO
SPEDITIVO PER LA
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DI
EDIFICI IN MURATURA**

Laureando:

Manuel Massimi (3187608)

Relatore:

Prof. Enrico Spacone

Co-relatore:

Ing. Alberto Basaglia

Anno accademico 2019/2020

INDICE

INTRODUZIONE	10
IL RISCHIO SISMICO	11
1.1 PERICOLOSITÀ SISMICA	13
1.1.1 <i>Pericolosità del comune di Catignano</i>	17
1.1.1.1 Microzonazione Sismica comune di Catignano (PE)	19
1.1.2 <i>Analisi di risposta sismica locale</i>	20
1.1.2.1 Modifiche del moto sismico: effetti di sito	22
1.1.2.1.1 Effetti stratigrafici o monodimensionali (1D)	24
1.1.2.1.2 Il Fattore di Amplificazione	25
1.2 VULNERABILITÀ	26
1.3 ESPOSIZIONE	28
VULNERABILITÀ DI UN EDIFICIO	30
2.1 METODI DIRETTI	31
2.1.1 <i>Curve di Fragilità</i>	31
2.1.2 <i>Analisi statica non lineare</i>	33
2.1.2.1 Curva di Push-over	35
2.1.2.2 Valutazione della sicurezza strutturale	35
2.1.2.3 Capacità	35
2.1.2.4 Domanda	37
2.1.2.5 Confronto tra capacità e domanda	37
2.1.3 <i>Analisi cinematica lineare</i>	39
2.1.4 <i>Software 3muri</i>	41
2.1.4.1 Modellazione di un edificio in 3muri	42
2.1.4.2 Analisi statica non lineare	46
2.1.4.3 Analisi cinematica lineare in 3muri	48
2.2 METODI INDIRETTI	50
2.2.1 <i>Scheda di vulnerabilità di 2° livello G.N.D.T.</i>	50
2.2.1.1 Stima del grado medio di danno	54
2.2.2 <i>Metodo Macrosismico</i>	56
ANALISI CASO STUDIO: COMUNE DI CATIGNANO (PE)	58
3.1 RACCOLTA DATI	59
3.1.1 <i>Edifici Catignano</i>	59

3.2	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	63
3.2.1	<i>Inserimento dati in STRATA</i>	64
3.2.2	<i>Calcolo Fattore di Amplificazione locale</i>	68
3.3	VALIDAZIONE E TARATURA DELLA SCHEDA GNDT-II	69
3.3.1	<i>Influenza del fattore di amplificazione sul grado medio di danno</i>	69
3.3.2	<i>Confronto del danno GNDT-II / AeDes</i>	70
3.3.3	<i>Ridefinizione delle classi del Parametro 1</i>	71
3.3.4	<i>Calibrazione numerica</i>	73
3.3.4.1	Parametro 1 – Classe E	73
3.3.4.2	Parametro 1 – Classe D	75
3.3.4.3	Parametro 1 – Classe C	77
3.3.4.4	Parametro 1 – Classe B	79
3.4	CONCLUSIONI	87
ALLEGATI		88
4.1	EDIFICIO 1	89
4.1.1	<i>Piante, prospetti e sezioni</i>	89
4.1.1.1	Piante	89
4.1.1.2	Prospetti	90
4.1.1.3	Sezioni	91
4.1.2	<i>Scheda Aedes</i>	92
4.1.3	<i>Report fotografico</i>	93
4.1.4	<i>Schede GNDT-II</i>	94
4.1.4.1	Scheda GNDT-II originale	94
4.1.4.2	Scheda GNDT-II modificata (classe E)	95
4.1.4.3	Scheda GNDT-II modificata (classe D)	96
4.1.4.4	Scheda GNDT-II modificata (classe C)	97
4.1.4.5	Scheda GNDT-II modificata (classe B)	98
4.1.5	<i>Modello di calcolo in 3muri</i>	99
4.1.6	<i>Risultati analisi cinematica lineare</i>	100
4.1.6.1	Ribaltamento semplice	100
4.1.6.2	Ribaltamento composto	102
4.1.6.3	Flessione verticale	104
4.1.6.4	Riepilogo risultati	106
4.1.7	<i>Analisi statica non lineare</i>	107
4.1.7.1	Solaio rigido	107
4.1.7.2	Solaio rigido e iniezioni di malta	107
4.1.7.3	Solaio rigido e intonaco armato (rete elettrosaldata)	108
4.1.7.4	Solaio rigido e FRP	108
4.1.7.5	Solaio rigido, iniezioni di malta ed intonaco armato (rete elettrosaldata)	109

4.1.7.6	Solaio rigido, iniezioni di lata e FRP	109
4.1.7.7	Riepilogo risultati	110
4.2	EDIFICIO 2	111
4.2.1	<i>Piante, prospetti e sezioni</i>	111
4.2.1.1	Piante	111
4.2.1.2	Prospetti	115
4.2.1.3	Sezioni	118
4.2.2	<i>Scheda Aedes</i>	119
4.2.3	<i>Report fotografico</i>	120
4.2.4	<i>Schede GNDT-II</i>	121
4.2.4.1	Scheda GNDT-II originale	121
4.2.4.2	Scheda GNDT-II modificata (classe E)	122
4.2.4.3	Scheda GNDT-II modificata (classe D)	123
4.2.4.4	Scheda GNDT-II modificata (classe C)	124
4.2.4.5	Scheda GNDT-II modificata (classe B)	125
4.2.5	<i>Modello di calcolo in 3muri</i>	126
4.2.6	<i>Risultati analisi cinematica lineare</i>	127
4.2.6.1	Ribaltamento semplice	127
4.2.6.2	Ribaltamento composto	129
4.2.6.3	Flessione verticale	131
4.2.6.4	Riepilogo risultati	133
4.2.7	<i>Analisi statica non lineare</i>	134
4.2.7.1	Solaio rigido	134
4.2.7.2	Solaio rigido e iniezioni di malta	134
4.2.7.3	Solaio rigido e intonaco armato (rete elettrosaldata)	135
4.2.7.4	Solaio rigido e FRP	135
4.2.7.5	Solaio rigido, iniezioni di malta ed intonaco armato (rete elettrosaldata)	136
4.2.7.6	Solaio rigido, iniezioni di lata e FRP	136
4.2.7.7	Riepilogo risultati	137
4.3	EDIFICIO 3	138
4.3.1	<i>Piante, prospetti e sezioni</i>	138
4.3.1.1	Piante	138
4.3.1.2	rospetti	143
4.3.1.3	Sezioni	145
4.3.2	<i>Scheda Aedes</i>	146
4.3.3	<i>Report fotografico</i>	147
4.3.4	<i>Schede GNDT-II</i>	148
4.3.4.1	Scheda GNDT-II originale	148
4.3.4.2	Scheda GNDT-II modificata (classe E)	149
4.3.4.3	Scheda GNDT-II modificata (classe D)	150
4.3.4.4	Scheda GNDT-II modificata (classe C)	151

4.3.4.5	Scheda GNDT-II modificata (classe B)	152
4.3.5	<i>Modello di calcolo in 3muri</i>	153
4.3.6	<i>Risultati analisi cinematica lineare</i>	154
4.3.6.1	Ribaltamento semplice	154
4.3.6.2	Ribaltamento composto	157
4.3.6.3	Flessione verticale	160
4.3.6.4	Riepilogo risultati	166
4.3.7	<i>Analisi statica non lineare</i>	167
4.3.7.1	Solaio rigido	167
4.3.7.2	Solaio rigido e iniezioni di malta	167
4.3.7.3	Solaio rigido e intonaco armato (rete elettrosaldato)	168
4.3.7.4	Solaio rigido e FRP	168
4.3.7.5	Solaio rigido, iniezioni di malta ed intonaco armato (rete elettrosaldato)	169
4.3.7.6	Solaio rigido, iniezioni di latta e FRP	169
4.3.7.7	Riepilogo risultati	170
4.4	RELAZIONE GEOLOGICA	171
4.4.1	<i>Indagini</i>	171
4.4.2	<i>Caratterizzazione Litostratigrafica</i>	171
4.4.3	<i>Stratigrafia</i>	172
BIBLIOGRAFIA		173

INDICE FIGURE

Figura 1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale	16
Figura 2 - Coordinate ID	17
Figura 3 - Spettri di risposta a pericolosità uniforme	18
Figura 4 - Microzonazione Sismica Catignano	20
Figura 5 - Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito.....	21
Figura 6 - Esempio di risposta sismica locale	21
Figura 7 - Effetti di sito, basamento roccioso.....	23
Figura 8 - Curve di fragilità.....	33
Figura 9 - Controllo in spostamento	35
Figura 10 - Bilinearizzazione della curva di capacità.....	36
Figura 11 - Trasformazione della curva in spettro di capacità	36
Figura 12 - Passaggio da spettro elastico e spettro ADRS	37
Figura 13 - Confronto tra spettro ADRS e spettro di capacità	37
Figura 14 - Funzionamento TreMuri	41
Figura 15 - Fili fissi pareti portanti.....	42
Figura 16 - Materiali.....	43
Figura 17 - Definizione caratteristiche	43
Figura 18 - Aperture e cerchiature.....	44
Figura 19 – Tipologia di orizzontamenti, Solaio.....	44
Figura 20 - Tipologie di orizzontamenti, Volte.....	45
Figura 21 - Generazione del telaio equivalente	46
Figura 22 - Azione sismica.....	46
Figura 23 - Analisi.....	47
Figura 24 - Curva di push-over	47
Figura 25 - Inserimento blocco rigido	48
Figura 26 - Definizione cerniera.....	48
Figura 27 – Risultati	49
Figura 28 - Scheda GNDT-CNR 2° livello	52
Figura 29 - Curve di vulnerabilità (Ferreira et al. 2013).....	55
Figura 30 – Classificazione delle tipologie di edifici EMS-98	56
Figura 31 - Grado di danno edifici in muratura.....	57

Figura 32 - Tipi di suolo	64
Figura 33 - Profilo del suolo.....	64
Figura 34 - Inserimento accelerogramma.....	65
Figura 35 - Definizione Output	65
Figura 36 - Funzione di trasferimento	66
Figura 37 – Output.....	67
Figura 38 - Input (bedcock).....	67
Figura 39 - Spettri di risposta beaderock - suolo.....	68
Figura 40 - Curve di Danno, Edificio 1	69
Figura 41 -Curve di Danno, Edificio 2	69
Figura 42 - Curve di Danno, Edificio 3	70
Figura 43 - Confronto del danno	71
Figura 44 - Parametro 1	71
Figura 45 - Punteggi Parametro 1	72
Figura 46 - Parametro 1 modificato.....	72
Figura 47 - Ribaltamento semplice.....	73
Figura 48 - Curve di danno e Ribaltamento semplice, Edificio 1	74
Figura 49 - Curve di danno e Ribaltamento semplice, Edificio 2	74
Figura 50 - Curve di danno e Ribaltamento semplice, Edificio 3	74
Figura 51 - Ribaltamento composto	75
Figura 52 - Curve di danno e Ribaltamento composto, Edificio 1	76
Figura 53 - Curve di danno e Ribaltamento composto, Edificio 2.....	76
Figura 54 - Curve di danno e Ribaltamento composto, Edificio 3	76
Figura 55 – Flessione verticale parete	77
Figura 56 - Curve di danno e Flessione verticale, Edificio 1	78
Figura 57 - Curve di danno e Flessione verticale, Edificio 1	78
Figura 58 - Curve di danno e Flessione verticale, Edificio 3	78
Figura 59 - Esempio compilazione scheda.....	79
Figura 60 - Limiti di danno	80
Figura 61 - Intonaco Armato; Edificio 1	81
Figura 62 - FRP, Edificio 1	81
Figura 63 - Contributo rinforzi, Edificio 1	82
Figura 64 - Confronto del danno, Edificio 1	82
Figura 65 - Confronto dell'indice di sicurezza, Edificio 1	82

Figura 66 - Intonaco armato, Edificio 2	83
Figura 67 - FRP, Edificio 2	83
Figura 68 - Contributo rinforzi, Edificio 2	84
Figura 69 - Confronto del danno, Edificio 2	84
Figura 70 - Confronto dell'indice di sicurezza, Edificio 2.....	84
Figura 71 - Intonaco armato, Edificio 3	85
Figura 72 - FRP, Edificio 3	85
Figura 73 - Contributo rinforzi, Edificio 3	86
Figura 74 - Confronto del danno, Edificio 3	86
Figura 75 - Confronto dell'indice di sicurezza, Edificio 3.....	86

INDICE TABELLE

Tabella 1 - Punteggi Edifici Muratura	53
Tabella 2 - Grado medio di danno AeDes	70
Tabella 3 - Punteggio classe E parametro 1	75
Tabella 4 - Punteggi classe D parametro 1	77
Tabella 5 - Punteggi classe C parametro 1	79
Tabella 6 - Riepilogo risultati analisi di Pushover	87

INTRODUZIONE

Lo scopo della tesi è la validazione (attraverso analisi rigorose cinematiche o a telai equivalenti) delle schede di vulnerabilità di 2° livello, fornite dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (G.N.D.T.). le schede GNDT sono un utile strumento di valutazione della vulnerabilità degli edifici a scala urbana sia per la muratura che per il cemento armato.

La motivazione di tale studio è che le schede sono state sviluppate negli anni 90' su base empirica, osservando il danno prodotto dai terremoti passati. Nel corso degli anni le schede per la muratura hanno subito delle revisioni o aggiornamenti ma la loro validità non è mai stata constatata con analisi così dette rigorose (cinematiche o a telai equivalenti).

Tramite questa validazione si proporranno eventuali correzioni delle schede e si inizierà a valutare anche l'effetto degli interventi di miglioramento sismico che allo stato attuale non vengono considerati.

La metodologia usata sarà quella comparativa, cioè si confronteranno i valori di vulnerabilità sismica e danno atteso ottenuti dalle schede per un numero rappresentativo di edifici tipo con quelli ottenuti dalle corrispondenti analisi rigorose (cinematiche o a telai equivalenti). Dal confronto, si procederà con l'eventuale proposta di modifica della scheda, al fine di ottenere una migliore corrispondenza dei risultati. Infine, si valuterà l'introduzione di parametri che considerino l'effetto di interventi di miglioramento sismico.

La struttura della tesi è quella classica degli elaborati scientifici, nei primi due capitoli si introdurranno le relazioni ed i metodi utilizzati. Nel terzo capitolo si applicherà la teoria al caso studio e si giungerà a conclusione. Infine, segue il capitolo degli allegati dove sono stati messi tutti i dati del caso studio e i risultati delle analisi.

L'elaborato vuole mettere le basi per un aggiornamento completo della scheda, dopo aver validato numericamente l'efficacia di essa. Si proporranno migliorie che possono essere portate avanti da studi futuri.

Capitolo 1

IL RISCHIO SISMICO

Si definisce rischio sismico (R) la stima delle perdite complessive (vite umane, beni economici, valori culturali, volume edilizio) che a causa delle azioni di un evento sismico potranno interessare, in un dato periodo di tempo, una determinata area. In altre parole, per rischio si intende la probabilità che venga raggiunto un prefissato livello di perdita in un certo intervallo di tempo. Tale perdita è identificata solitamente nel costo da sostenere per riportare il sistema danneggiato alle condizioni che esso aveva prima dell'evento sismico. La valutazione in un'area dell'esistenza di condizioni di rischio sismico è legata alla stima di tre parametri fondamentali: la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione. La pericolosità sismica (*seismic hazard* H) è dipendente dalle caratteristiche dell'evento fisico e dalle caratteristiche geologiche dell'area nella quale l'evento si manifesta: tanto maggiore sono la frequenza e l'intensità degli eventi che caratterizzano un'area geografica, tanto maggiore è la sua pericolosità. La vulnerabilità (V) è invece definita come la suscettibilità di una struttura a subire danni a causa di un dato terremoto. Tali danni possono portare alla momentanea perdita di funzionalità o anche alla totale irrecuperabilità. Infine, l'esposizione (E) è riferita alla natura, alla quantità ed al valore dei beni nonché alle attività presenti sul territorio che possono essere influenzate direttamente o indirettamente dall'evento sismico (insediamenti, edifici, attività economiche-produttive, infrastrutture, densità di popolazione).

Concettualmente, il rischio sismico si può quindi esprimere secondo la seguente relazione:

$$\mathbf{Rischio\ Sismico = Pericolosità \times Vulnerabilità \times Esposizione}$$

In maniera più rigorosa, il rischio sismico per un edificio può essere rappresentato dalla probabilità di collasso dello stesso in un intervallo temporale di interesse. Facendo riferimento agli aspetti fenomenologici connessi al danno strutturale, il collasso può essere convenzionalmente identificato in corrispondenza di diversi stati limite, la cui funzione di stato (Z) è non positiva se la corrispondente condizione limite è raggiunta o superata (collasso o *failure*). La probabilità che la funzione Z sia non positiva coincide con la probabilità di *failure* P_f , mentre il complemento, $P_s=1-P_f$, è la probabilità di sopravvivenza rispetto dello stato limite considerato (*survival*), ovvero una misura dell'affidabilità strutturale.

$$Z = \begin{cases} > 0 & \text{Sopravvivenza} \\ = 0 & \text{Limite} \\ < 0 & \text{Collasso} \end{cases}$$

Nel caso sismico la funzione Z è espressa dal confronto tra la domanda sismica (D), rappresentativa della prestazione richiesta alla struttura al sito, e la corrispondente disponibilità o capacità non lineare (C) dell'edificio (1).

$$P_f = P[Z \leq 0] = P[C \leq D] \quad (1)$$

Pinto et al. [2004] hanno presentato una disamina esaustiva dei diversi metodi che si possono utilizzare per calcolare $P[C \leq D]$ in forma chiusa o approssimata. Una possibile strategia consiste nel separare la stima della risposta strutturale da quella della caratterizzazione probabilistica della domanda sismica (2). [Cornell 2004]:

$$P[C \leq D] = \sum P[C \leq D | IM = a] = P[IM = a] \quad (2)$$

Il secondo termine al secondo membro della (2) deriva da analisi probabilistiche della pericolosità sismica al sito (PSHA da *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) [Cornell 1968; McGuire 1995] e rappresenta la probabilità di accadimento di un terremoto di intensità IM pari ad a , dove IM è una generica quantità spettrale. Il termine $P[C \leq D | IM]$, fragilità, è la probabilità di *failure* per un dato IM e sintetizza le caratteristiche di vulnerabilità della struttura. L'equazione (2) può essere applicata per una classe di strutture e la probabilità di *failure* si interpreta come la frazione di edifici della classe che ci si aspetta collassino nel periodo di tempo di riferimento. A tal fine, è necessario caratterizzare probabilisticamente la capacità e la domanda sismica per la classe.

1.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica rappresenta una misura delle potenzialità distruttive del terremoto ed è legata ad un fenomeno naturale tipicamente aleatorio quale è la frequenza con la quale tale fenomeno si ripete, nonché alle caratteristiche geologiche dell'area nella quale l'evento si manifesta. La conoscenza della pericolosità sismica di un sito diventa in questo modo, uno strumento di previsione del grado di severità dei terremoti attesi. Tale severità può essere misurata utilizzando scale strumentali (misure oggettive della forza del sisma) o scale macrosismiche (misure soggettive degli effetti prodotti dal sisma). Le prime, si basano su parametri relativi al moto del suolo quali: il picco di accelerazione massima (PGA: *Peak Ground Acceleration*), la magnitudo locale o magnitudo Richter (M), la velocità spettrale, ecc. ed hanno il vantaggio di essere grandezze meccaniche di più immediato utilizzo ai fini ingegneristici, ma essendo le registrazioni strumentali di disponibilità recente, non hanno riscontro con i terremoti passati. Le seconde, sono meno accurate ma hanno il vantaggio di offrire una stima dell'intensità media in una zona colpita partendo direttamente dal

danneggiamento osservato e possono essere associate ai terremoti del passato, in particolare attraverso la sismicità storica che utilizza il cospicuo bagaglio di notizie rintracciabili.

L'approccio alla valutazione della pericolosità può essere di due tipi: uno di tipo deterministico ed uno probabilistico.

Il *metodo deterministico* si basa sullo studio dei danni osservati in occasione di eventi sismici che storicamente hanno interessato un sito, ricostruendo degli scenari di danno per stabilire la frequenza con la quale si sono ripetute nel tempo scosse di uguale intensità. Questo approccio è stato spesso utilizzato in passato nelle analisi di sito. Tuttavia, poiché richiede la disponibilità di informazioni complete sulla sismicità locale e sui risentimenti (informazioni non sempre facilmente reperibili), nelle analisi viene generalmente preferito un metodo di tipo probabilistico.

Il *metodo probabilistico* per la valutazione della pericolosità sismica è fondato sulle informazioni fornite dalla storia sismica di un sito e determina la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo (τ) si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità (I), magnitudo o accelerazione di picco (PGA) di nostro interesse.

Il metodo probabilistico più utilizzato è quello di Cornell [1968], dal nome di colui che l'ha per primo proposto negli Stati Uniti nel 1968. Tale metodo, prevede che vengano individuate nel territorio le zone responsabili degli eventi sismici, che sia quantificato il loro grado di attività e che si calcolino gli effetti provocati da tali aree in relazione alla distanza dall'epicentro. Per applicare tale metodo è necessario disporre di:

- un **modello strutturale**, che ricostruisce l'andamento delle strutture geologiche superficiali e profonde; una **carta neotettonica**, nella quale sono evidenziati i movimenti "recenti" della crosta terrestre (avvenuti negli ultimi milioni di anni);
- un **catalogo dei terremoti**, che consente di ricostruire la distribuzione spaziale e temporale degli eventi sismici;
- un **modello di attenuazione**, che consente di calcolare per ciascun sito l'entità dello scuotimento prodotto dai terremoti generati nelle aree circostanti.

Le assunzioni affinché il metodo sia valido sono che i terremoti avvengano nel tempo in modo casuale e che la probabilità che si verifichino all'interno di una data area (zona sismogenetica) sia la stessa in ogni punto. Per quanto appena detto, i limiti del metodo risiedono nei presupposti alla base dello stesso, ovvero: considerare i terremoti come eventi che avvengono in modo casuale; non tenere conto del tempo trascorso dall'ultimo evento (la

probabilità che accada sarà maggiore quanto più tempo è trascorso); adottare un modello di attenuazione omogeneo ed isotropo sul territorio (ovvero, non dipendente dalla morfologia del terreno e dalla direzione di propagazione delle onde). Inoltre, la pericolosità è normalmente valutata rispetto a condizioni di sito ideale (roccia con superficie orizzontale) e quindi non si tiene conto delle condizioni locali, che possono modificare anche sensibilmente il livello dei danni.

Di seguito, si descrivono le fasi principali attraverso le quali si sviluppa la valutazione della pericolosità sismica, utilizzando la metodologia proposta da Cornell (1968):

1. Individuazione delle zone sorgenti (zonazione sismogenetica). Conoscendo l'andamento delle strutture geologiche superficiali e profonde, i movimenti recenti, la distribuzione degli eventi sismici e la ricostruzione del tipo di movimento che ha dato origine al terremoto (meccanismi focali), è possibile individuare e delimitare delle aree omogenee dal punto di vista della sismicità (zone sismogenetiche). In tali aree sono definite le faglie maggiori (responsabili degli eventi di maggiore energia), le faglie minori (responsabili degli eventi di minore energia) ed è definita la loro cinematica (ossia il tipo di movimento legato alla tettonica dell'area): compressiva (i blocchi si accavallano), distensiva (i blocchi si allontanano), con componenti di trascorrenza o trascorrente (il movimento dei blocchi è prevalentemente orizzontale).

2. Definizione di una legge di occorrenza per ciascuna zona. Per ogni zona sismogenetica vengono individuati gli eventi sismici del catalogo e viene determinata una relazione tra il numero di eventi e l'intensità (o magnitudo), nota come legge di occorrenza o legge di Gutenberg-Richter (1954), dal nome degli studiosi che l'hanno formulata:

$$\log(N) = a - b I \quad (3)$$

dove N è il numero di eventi, I è l'intensità macrosismica, a e b delle costanti che dipendono dal territorio considerato. Generalmente la frequenza maggiore si ha per gli eventi di bassa magnitudo, per i quali il periodo di ritorno è breve. Tra una zona e l'altra può variare la pendenza della retta che esprime la relazione Gutenberg-Richter: la pendenza dipende, infatti, dal valore della costante b , che è caratteristica di ciascuna zona sismogenetica.

3. Definizione di una legge di attenuazione. Per il territorio considerato viene costruito un modello che rappresenta la variazione dell'intensità macrosismica (e quindi degli effetti che si osservano) con la distanza dall'epicentro. Generalmente gli effetti diminuiscono allontanandosi dall'area epicentrale; tuttavia, in presenza di particolari condizioni geologiche

e morfologiche (condizioni locali) si possono avere fenomeni di amplificazione difficilmente rappresentabili attraverso un modello matematico. Ragionando a scala nazionale si stabilisce una relazione, valida per l'intero territorio, che meglio riproduce gli effetti realmente osservati in occasione di eventi sismici del passato.

4. Calcolo della pericolosità. Ogni zona viene assimilata ad una sorgente e per ciascun punto del territorio viene determinato il valore della pericolosità sommando il contributo della sismicità prodotta da ogni zona sismogenetica, tenendo conto della legge di attenuazione. I valori di pericolosità, associati a ciascun punto georeferenziato (cioè dotato di coordinate geografiche), si ottengono attraverso un programma automatico di calcolo che utilizza le informazioni descritte nei punti precedenti.

5. Realizzazione di una carta della pericolosità. Da questo punto di vista, lo studio della pericolosità sismica ha condotto alla costruzione delle curve di pericolosità che per un assegnato periodo o accelerazione di picco al suolo, mettono in relazione l'ordinata spettrale di accelerazione con una certa probabilità di superamento che generalmente è data in un arco temporale di 50 anni. Naturalmente ogni zona territoriale, a causa della diversa storia di eventi sismici subiti nel corso degli anni avrà differenti curve di pericolosità. Di seguito (*Figura 1*) viene mostrata la mappa di pericolosità del territorio nazionale che può essere reperita sul citato sito internet dell'INGV, che suddivide il territorio in zone a pericolosità omogenea, definendo i diversi valori di accelerazione spettrale e periodo prefissato PGA.

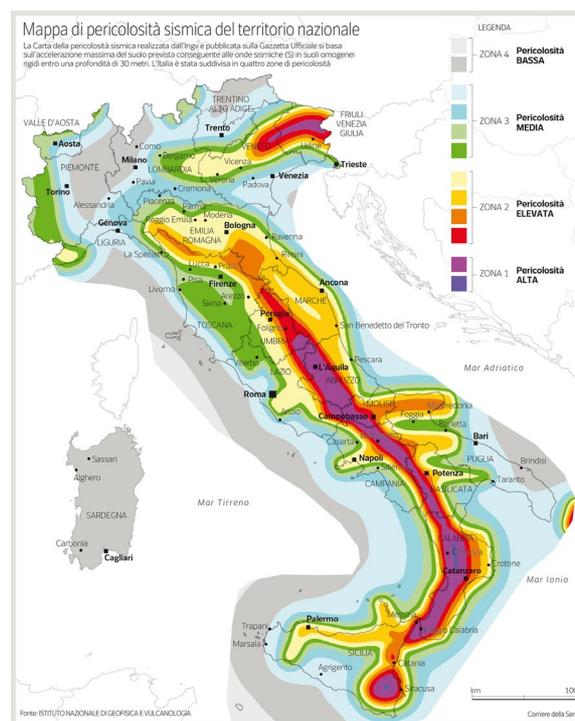


Figura 1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

1.1.1 Pericolosità del comune di Catignano

Considerando ad esempio il comune di Catignano (PE), in *Figura 2* si nota come i valori assegnati ai riquadri prossimi alle coordinate, le quali generano una sorta di reticolo, riguardino valori di PGA attorno 0,175 e 0,200. Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, come in questo caso, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto siano stati calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenete il punto analizzato, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i} / \sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i} \quad (4)$$

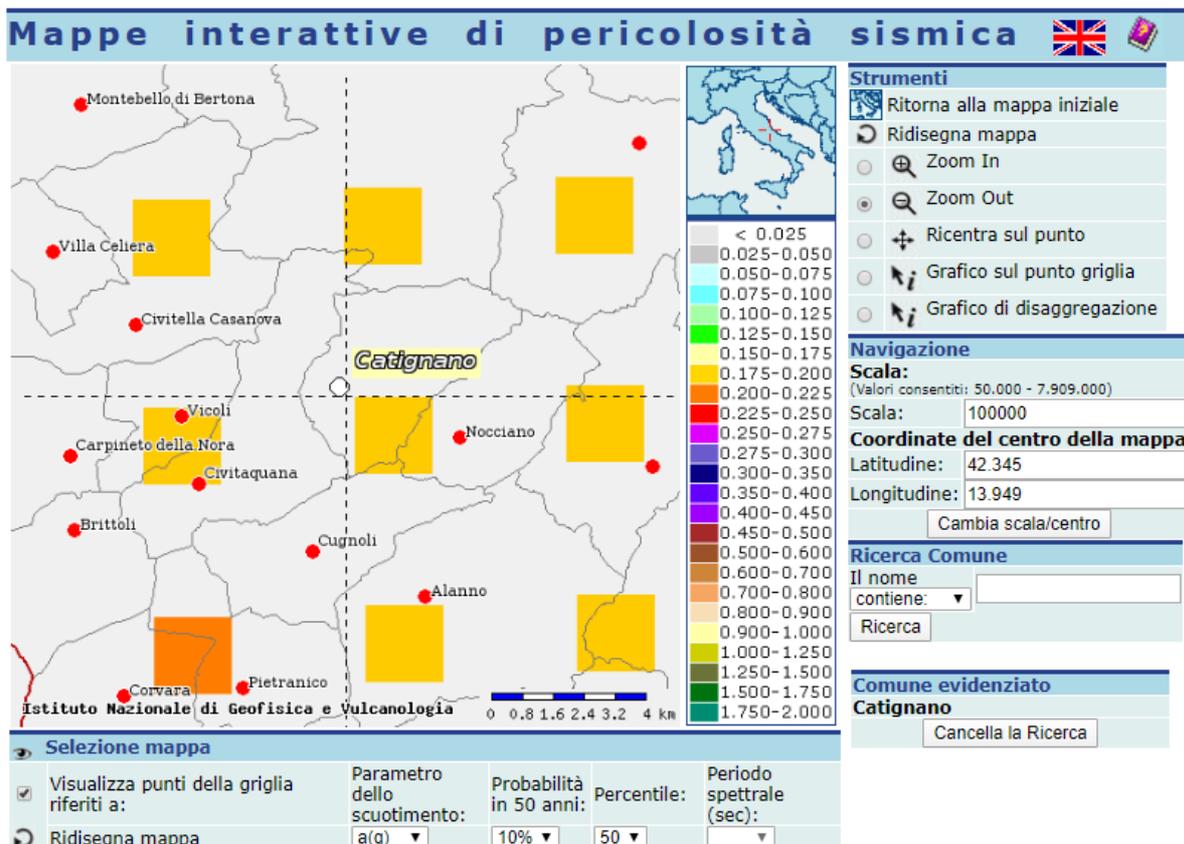
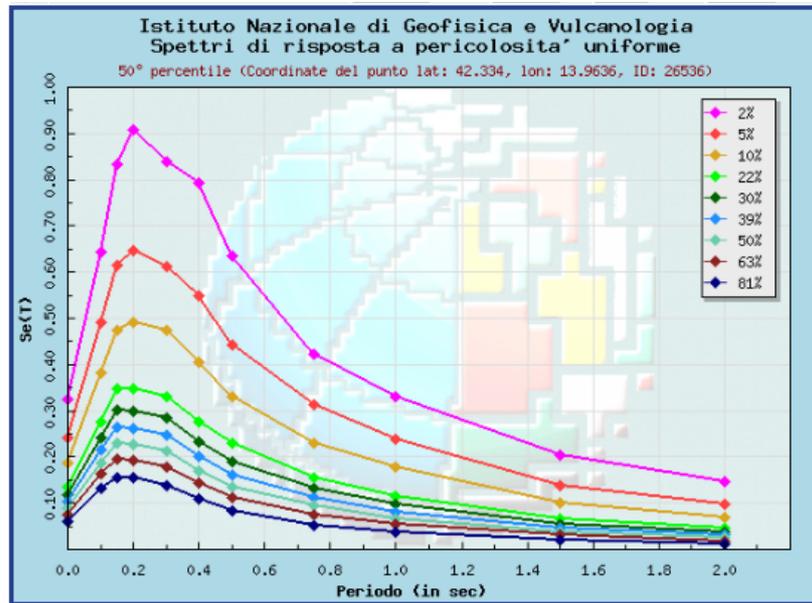


Figura 2 - Coordinate ID

Il sito dell'INGV permette di ottenere per ogni ID di riferimento il grafico che mette in relazione il periodo con l'accelerazione in una determinata unità di tempo, e gli spetti di risposta a pericolosità uniforme, come rappresentato di seguito nella *Figura 3*.



Prob. di ecc. in 50 anni	Spettri di risposta a pericolosità uniforme 50° percentile (Coordinate del punto lat: 42.334, lon: 13.9636, ID: 26536)										
	Periodo (in sec)										
	0.00	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
2%	0.3254	0.6433	0.8337	0.9080	0.8378	0.7938	0.6340	0.4211	0.3303	0.2035	0.1457
5%	0.2400	0.4915	0.6150	0.6465	0.6127	0.5479	0.4425	0.3123	0.2390	0.1387	0.0965
10%	0.1863	0.3815	0.4728	0.4901	0.4733	0.4040	0.3308	0.2288	0.1770	0.1005	0.0688
22%	0.1348	0.2764	0.3478	0.3481	0.3314	0.2765	0.2294	0.1560	0.1160	0.0666	0.0460
30%	0.1167	0.2424	0.3026	0.2992	0.2847	0.2333	0.1905	0.1324	0.0967	0.0552	0.0380
39%	0.1020	0.2142	0.2647	0.2621	0.2474	0.2007	0.1614	0.1115	0.0795	0.0463	0.0318
50%	0.0887	0.1877	0.2296	0.2267	0.2125	0.1701	0.1339	0.0946	0.0673	0.0380	0.0244
63%	0.0758	0.1630	0.1964	0.1934	0.1775	0.1429	0.1120	0.0755	0.0534	0.0309	0.0177
81%	0.0599	0.1310	0.1564	0.1541	0.1389	0.1096	0.0826	0.0519	0.0363	0.0196	0.0115

Figura 3 - Spettri di risposta a pericolosità uniforme

Dopo aver calcolato le curve di pericolosità e aver definito una probabilità di superamento è possibile determinare gli spetti di accelerazione e spostamento.

Il consiglio superiore dei lavori pubblici mette a disposizione un foglio Excel (<http://www.cslp.it/>) che ci consente di individuare gli spettri elastici, o di progetto con riferimento alla NTC2018, inserendo le seguenti informazioni:

- Le coordinate, longitudine e latitudine, del sito in questione
- Lo stato limite al quale ci si riferisce (SLV – SLD)
- Il fattore di struttura
- Vita nominale dell'opera
- Destinazione d'uso
- Il coefficiente di smorzamento (solitamente pari al 5%)

1.1.1.1 Microzonazione Sismica comune di Catignano (PE)

Per Microzonazione Sismica si intende la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza questo studio di prevenzione sismica individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità restituendo cartografie tematiche utili per la pianificazione, progettazione e la gestione dell'emergenza in caso di terremoto.

È ormai noto che lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle qualità dei terreni e delle caratteristiche morfologiche del sito. Sicuramente la qualità delle costruzioni può influire sull'entità del danno, ma spesso le cause sono riconducibili a una differente pericolosità sismica locale, determinata anche dal diverso modo in cui si propaga il terremoto o dall'instabilità del suolo. Le caratteristiche geologiche del territorio, infatti, possono alterare localmente e in maniera evidente l'azione sismica.

Gli studi di microzonazione sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza di questi fenomeni, restituendo informazioni utili per chi deve pianificare o realizzare interventi sul territorio.

Le carte di Microzonazione Sismica di livello caratterizzano con valori numerici le microzone sismicamente omogenee. La caratterizzazione avviene mediante un fattore di amplificazione del moto (F_a) così come definito negli Indirizzi e criteri generali per la Microzonazione Sismica. I valori di F_a attribuiti alle varie microzone di una mappa definiscono una scala di pericolosità sismica locale.

Nelle carte consultabili sul sito della protezione civile (www.protezionecivile.it), alle microzone sono assegnati, in alternativa, o range di variazione di F_a oppure un valor medio,

in dipendenza della scelta di rappresentazione effettuata dall'unità operativa che ha elaborato la carta.

Di seguito (*Figura 4*) si riporta uno stralcio della carta di primo livello di microzonazione sismica del comune di Catignano.

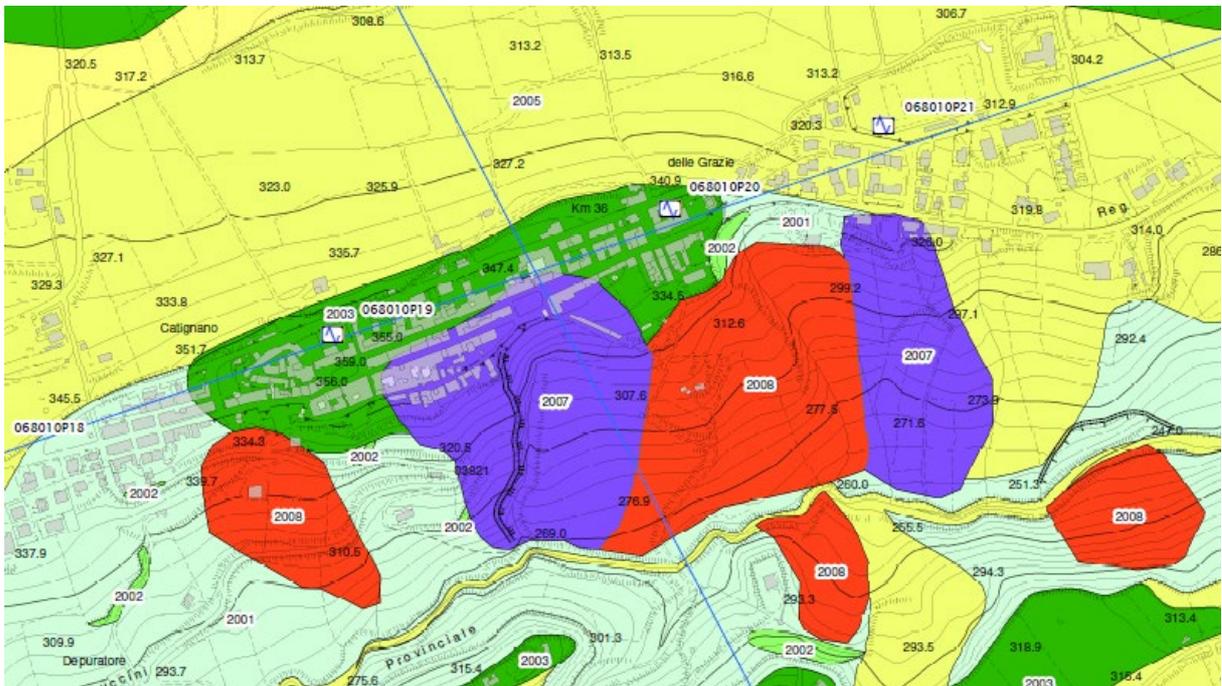


Figura 4 - Microzonazione Sismica Catignano

Poiché il comune in questione ha solo la carta di microzonazione sismica di primo livello, la quale non ci fornisce i valori del fattore di amplificazione, quest'ultimi sono stati calcolati attraverso una analisi di risposta sismica locale.

1.1.2 Analisi di risposta sismica locale

Un elemento fondamentale del fattore “vulnerabilità” è la Risposta Sismica Locale, cioè l'insieme delle modifiche che il moto sismico di ingresso al sito proveniente da un basamento roccioso subisce in termini di ampiezza, frequenza e durata, per effetto delle condizioni locali del sottosuolo, cioè per effetto delle differenti caratteristiche geologiche, morfologiche e geotecniche che caratterizzano i vari depositi di terreno. Ciò consente di definire il cosiddetto moto *free-field* (in assenza di strutture) che dipende da una serie di fenomeni fisici che possono essere raggruppati in tre categorie fondamentali: meccanismo di sorgente del sisma, propagazione delle onde dall'epicentro al sito e “effetti di sito” (*Figura 5*).

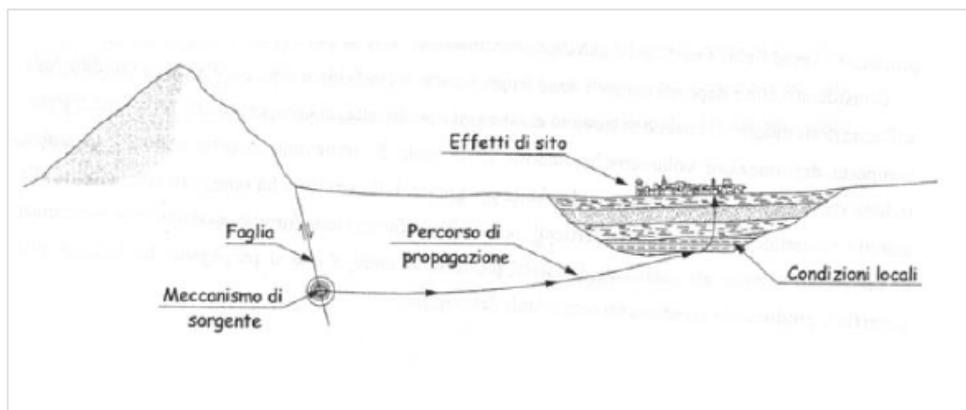


Figura 5 - Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito

Se si considera il caso ideale di sottosuolo omogeneo, rigido e pianeggiante, si può dedurre che, allontanandosi dall'epicentro, l'ampiezza massima del moto sismico diminuisce mano a mano ci si allontana dalla sorgente per effetto dell'attenuazione geometrica (espansione del fronte d'onda) e per effetto dell'energia dispersa per smorzamento interno del mezzo di propagazione; al tempo stesso anche il danno decresce in relazione alla vulnerabilità degli edifici esistenti. Nel caso di terreno reale, invece, entrano in gioco le cosiddette condizioni locali che modificano in maniera molto più complessa il moto sismico, facendo sì che, per un dato terremoto, siti diversi, anche posti alla stessa distanza dall'epicentro, abbiano una risposta diversa o che uno stesso sito abbia diverse risposte durante diversi terremoti (Figura 6).

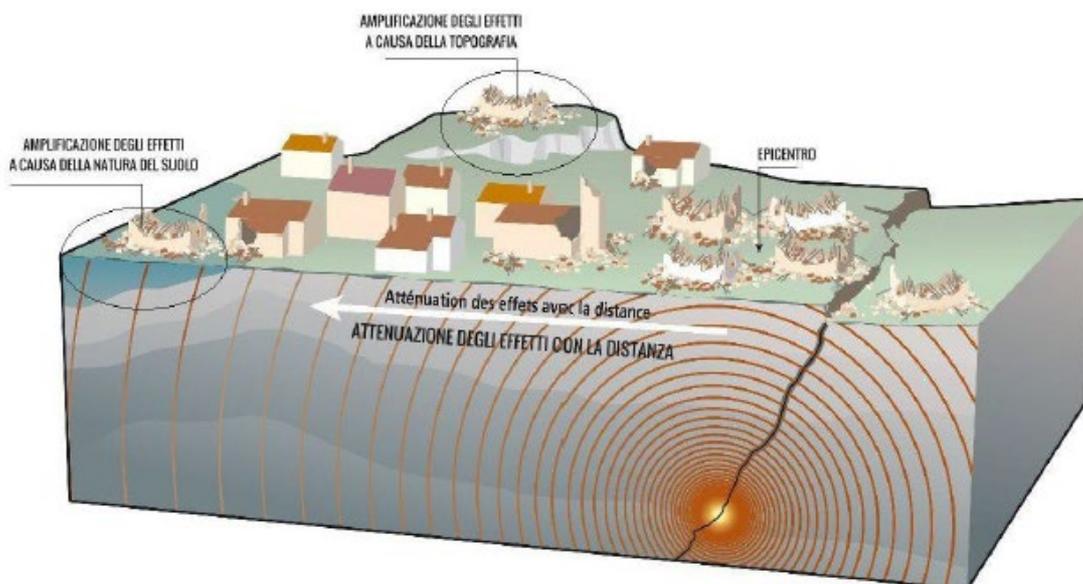


Figura 6 - Esempio di risposta sismica locale

Lo studio della risposta sismica locale o dell'amplificazione locale delle azioni sismiche consente, quindi, di definire il moto sismico d'ingresso al sito, l'input sismico (pericolosità sismica di base) così da confrontare i risultati ottenuti con quanto previsto dalle normative vigenti in materia di riduzione del rischio sismico, inoltre consente di stimare gli effetti amplificativi per la definizione delle zone a comportamento omogeneo nello studio di microzonazione sismica (MOPS) e di prevedere le deformazioni permanenti del terreno sotto le sollecitazioni prodotte da un terremoto, a seconda se il terreno in esame è a comportamento sismico stabile, che si mantiene lontano dalla rottura, o un terreno a comportamento sismico instabile, che si deforma in modo significativo, così da quantificare il rischio di fenomeni di instabilità, come frane indotte da sisma o liquefazione.

A livello pratico, eseguire un'analisi di RSL, equivale a confrontare le diverse grandezze che caratterizzano il moto sismico alla superficie del terreno del sito in esame e quello relativo all'affioramento del basamento roccioso, scelto come moto di riferimento.

La rappresentazione del moto sismico può essere espressa sia nel dominio del tempo sia nel dominio delle frequenze: nel primo caso i parametri rappresentativi per descrivere le caratteristiche di un terremoto sono l'accelerazione di picco (massima) o velocità o spostamento, e la durata, mentre nel secondo caso, lo Spettro di Fourier dell'accelerazione.

Infatti, può risultare poco significativo valutare il moto sismico solo in termini di variazione delle ampiezze massime, e cioè nel dominio del tempo, perché il terreno può essere inteso come un "filtro" che incrementa l'ampiezza del moto in corrispondenza di alcune frequenze e la riduce per altre. Quindi per tener conto di questo effetto di filtraggio, risulta più utile operare nel dominio delle frequenze, in termini di analisi di Fourier.

Come si vedrà nei paragrafi successivi, per descrivere il comportamento del terreno nel dominio del tempo occorre definire un rapporto che prende il nome di fattore di amplificazione, mentre nel dominio delle frequenze occorre definire una funzione, denominata funzione di amplificazione.

1.1.2.1 Modifiche del moto sismico: effetti di sito

La risposta di un determinato sito in seguito ad un evento sismico è legata principalmente alla propagazione delle onde sismiche di volume, che, generatesi in profondità, attraversano dapprima ammassi di roccia lapidea per poi incontrare materiali aventi diverse caratteristiche geologico-tecniche, subendo così una serie di modifiche in termini di riflessioni e rifrazioni.

Le stesse determinano variazioni nel percorso di propagazione delle onde, ma anche nelle velocità con cui esse attraversano gli strati. Frequenti, infatti, sono i fenomeni di inversione di velocità con le profondità, quando strati di terreno più soffici sono interposti a strati di terreno più rigidi, determinando quindi una diminuzione del valore di velocità rispetto agli strati sovrastanti e sottostanti, che possono interferire sul tipo di risposta di un sito ad una determinata sollecitazione. Tali “modifiche” sono inoltre incrementate da molteplici fenomeni fisici, quali riflessioni multiple, diffrazione, risonanza, focalizzazione, etc., che le onde subiscono per effetto dell’eterogeneità di un sottosuolo “reale” non omogeneo, della discontinuità degli strati più superficiali, del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni e delle irregolarità morfologiche superficiali e sepolte.

Si possono quindi raggruppare i fattori, detti “effetti di sito”, che influenzano la risposta sismica locale (*Figura 7*):

- Stratigrafici 1D
- Di bordo (o di valle) 2D-3D
- Topografici 2D-3D

A ciascuna categoria corrisponde una differente valutazione quantitativa della Risposta Sismica Locale, che avviene confrontando parametri rappresentativi del moto sismico alla superficie del deposito del sito di riferimento con quelli relativi all’affioramento piano (ipotetico o realmente esistente) del basamento roccioso (*bedrock*) presente nell’area, come vedremo nei paragrafi successivi.

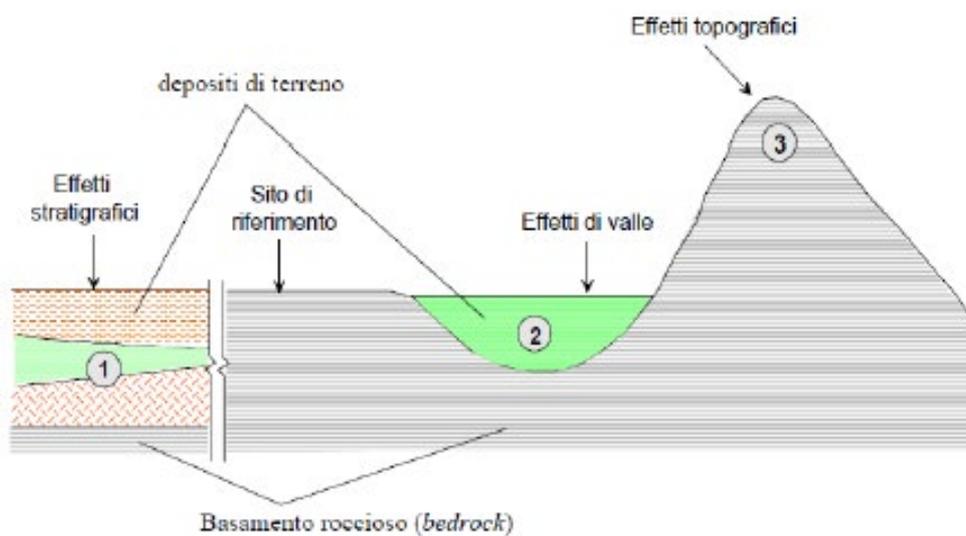


Figura 7 - Effetti di sito, basamento roccioso

Quindi, riassumendo quanto detto fino ad ora, si può affermare che il moto sismico d'ingresso $U(b,t)$ alla superficie di un determinato sito al tempo t , in condizioni di free-field, è l'insieme dei diversi fenomeni fisici legati non solo alle caratteristiche della sorgente $M(a,t)$ e ai meccanismi di propagazione $N(p,t)$ delle onde, ma anche alla natura morfologica e stratigrafica dei depositi e ammassi rocciosi $S(b,t)$ che le stesse attraversano:

$$U(b,t) = f [M(a,t), N(p,t), S(b,t)] \quad (5)$$

1.1.2.1.1 Effetti stratigrafici o monodimensionali (1D)

L'insieme delle modifiche che, un moto sismico, propagandosi in direzione verticale, subisce all'interno di un deposito di terreno la cui geometria è caratterizzata da strati orizzontali infinitamente estesi, variazioni laterali trascurabili e superficie del basamento orizzontale, prende il nome di effetti stratigrafici o monodimensionali (1D).

Da un punto di vista fisico, gli effetti stratigrafici comportano l'assenza di onde superficiali e l'esclusione dei fenomeni di *mode conversion*. Infatti, quando un'onda elastica incide su una discontinuità che separa due strati del deposito con differenti caratteristiche meccaniche, essa in parte viene riflessa nel mezzo di provenienza ed in parte rifratta, cioè prosegue oltre l'interfaccia e, per effetto del *mode conversion*, le onde riflesse e rifratte che si generano all'interfaccia possono essere sia dello stesso tipo dell'onda incidente, sia di diverso tipo.

Facendo le ipotesi di stratificazione orizzontale del deposito, di superficie libera piana e di incidenza verticale delle onde di volume, quando l'onda incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche meccaniche differenti, esse subiscono deviazioni del proprio moto generando, secondo la legge di *Snell*, onde riflesse e rifratte, aventi medesima fase di quelle incidenti. Le onde rifratte che attraversano i depositi e arrivano alla superficie libera possono a loro volta essere riflesse dalla stessa e tornare nuovamente all'interfaccia deposito-basamento per esser, da questa, in parte riflesse e in parte rifratte.

Dunque, nel deposito le stesse andranno incontro ad una serie di riflessioni multiple; infatti l'aliquota di energia riflessa resta totalmente "intrappolata" nel deposito ed è tanto maggiore quanto più elevato è il contrasto di impedenza sismica tra i terreni del deposito ed il basamento; l'aliquota di energia rifratta, invece, viene dissipata ed è denominata smorzamento geometrico o di radiazione. Si deve tener conto di questa perdita di energia per radiazione poiché nella realtà il substrato non è un mezzo perfettamente rigido.

Le onde che si propagano all'interno del sedimento interferiscono tra loro, determinando l'amplificazione, che è massima per certe frequenze, dette di risonanza, che dipendono dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei depositi di terreno, dalle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo e dal contenuto in frequenza predominante del moto sismico. Infatti, quando la frequenza del moto sismico (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n), si ha la risonanza dello strato ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito.

Quindi i fenomeni fisici da cui dipendono gli effetti stratigrafici sono essenzialmente due:

- Intrappolamento delle onde sismiche nel deposito per effetto di riflessioni multiple all'interfaccia del deposito-basamento;
- Risonanza tra onde sismiche riflesse e incidenti in relazione alla geometria e alle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

1.1.2.1.2 Il Fattore di Amplificazione

Una volta eseguita l'analisi è stato possibile estrarre direttamente dal codice di calcolo il profilo del fattore di amplificazione FA lungo i punti di controllo della superficie della sezione per i seguenti campi di periodo (0,1-0,5s) (0,5-1s) (1-2.5s) in modo da poter analizzare gli effetti sugli edifici.

Il Fattore di amplificazione rappresenta il parametro più significativo dell'analisi della Risposta Sismica Locale nel dominio del tempo, ed è il rapporto tra l'accelerazione massima alla superficie del terreno e quella in corrispondenza della formazione rocciosa. Per ottenere il Fattore di Amplificazione nei *range* di periodo è stato effettuato il rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output e i corrispondenti parametri di input per i differenti intervalli d'integrazione secondo la seguente relazione:

$$FA = \frac{\int_{T_1}^{T_2} PSA_{out}(T)dT}{\int_{T_a}^{T_2} PSA_{in}(T)dT} \quad (6)$$

Nel corso della tesi si fa riferimento al Fattore di Amplificazione sismica nel *range* di periodo 0,1 – 0,5 s.

1.2 VULNERABILITÀ

La vulnerabilità sismica di un edificio è la misura della suscettibilità dell'edificio stesso a subire danni per effetto di un terremoto di assegnate caratteristiche.

È innanzitutto possibile distinguere tra:

- **Vulnerabilità diretta:** che definisce la propensione di un singolo elemento fisico o complesso a subire danni per effetto di un terremoto.
- **Vulnerabilità indotta:** che viene definita in base alla crisi che viene indotta dal collasso di un singolo elemento fisico o complesso.
- **Vulnerabilità differita:** che definisce gli effetti che si manifestano nelle fasi successive all'evento sismico e alla prima emergenza.

In questo lavoro si fa riferimento alla **Vulnerabilità diretta** che mette in relazione da un lato l'azione sismica, e dall'altro il danno che essa provoca sul sistema fisico. La prima problematica da affrontare è dunque la scelta del parametro che possa identificare tali grandezze. Per l'azione sismica ci sono diverse possibilità tra cui l'intensità macrosismica, che rappresenta un parametro molto vantaggioso da utilizzare vista la diretta correlazione della scala di intensità con i danni causati dal terremoto. Di contro la scelta di questo parametro per la stima del danno in un'analisi strutturale, è poco vantaggiosa poiché è difficilmente correlabile ai valori di tipo spettrale che permettono di definire la pericolosità. Risulta quindi più conveniente utilizzare le grandezze spettrali che oltre ad essere correlate alla pericolosità, offrono la possibilità di valutare il danno in un'analisi strutturale avendo un chiaro significato meccanico.

Il danno invece, viene generalmente espresso in termini di costo economico o mediante indici. Nel primo caso, è espresso come costo necessario per il ripristino della costruzione ed in genere tale costo viene rapportato al costo della nuova costruzione; nel secondo caso, possono essere utilizzati indici qualitativi o quantitativi, che necessitano sempre di una scala standardizzata e di una successiva correlazione al valore economico, nel senso che è necessario in ogni caso esprimere il danneggiamento complessivo dell'edificio mediante un unico indicatore che sia facilmente convertibile in termini economici. Nell'ultimo trentennio sono state messe a punto diverse metodologie per la stima della vulnerabilità ed una loro classificazione è compito tutt'altro che semplice.

Una prima classificazione distingue i metodi di valutazione in base al tipo di risultato in:

- ***I metodi diretti*** forniscono il risultato come previsione del danno sismico attraverso un'analisi dettagliata, basata su metodi meccanici che riproducono il comportamento dell'edificio.
- ***I metodi indiretti*** sono quelli che dopo la determinazione di un indice di vulnerabilità V stabiliscono una relazione tra danni e terremoti. Tali indici sono determinati con metodi empirici.

Nel prossimo capitolo saranno spiegati in modo esaustivo i metodi diretti ed indiretti per il calcolo della vulnerabilità di un edificio esistente adottati in questa tesi.

1.3 ESPOSIZIONE

Per esposizione di una zona si intende la tipologia, destinazione d'uso, qualità e quantità di edifici esposti a rischio. Consiste nella definizione dei beni, delle funzioni e del numero di abitanti che potrebbero essere coinvolti durante un terremoto. Per descrivere completamente l'insieme degli elementi che concorrono a definire il rischio q cui una comunità è esposta, è necessario analizzare la distribuzione, la struttura e le condizioni socio-economiche della popolazione insediata; la qualità e le funzioni del patrimonio edilizio residenziale, pubblico e produttivo; il sistema delle infrastrutture; l'insieme delle attività economiche presenti e le relazioni dell'area esaminata con quelle circostanti. Poiché le procedure per determinare l'esposizione risultano essere complesse, si ricorre solitamente a procedure semplificate, così da definire i criteri di priorità per interventi di recupero e mitigazione. Uno di questi metodi definisce un fattore (indice di esposizione I_e), determinato tramite il prodotto tra I_u e I_f :

$$I_e = I_u I_f \quad (7)$$

In cui:

- I_u (indice di utenza) è a sua volta definibile tramite la relazione $I_u = (I_{ev}, I_{co})$, dove I_{ev} valuta il comportamento delle persone che occupano l'edificio, ovvero la loro capacità di reazione. Quest'ultima dipende dal fatto che gli individui siano bambini o anziani, dalle condizioni fisiche e dalla libertà motoria che possono assumere. I_{co} è invece l'indice di affollamento, e indica il grado di affollamento presente nell'edificio; è il prodotto tra il periodo di utilizzazione P_u e la densità di utenza D_u . in cui P_u è il rapporto tra il numero di ore annue di utilizzo ed il numero totale di ore contenute in un anno, mentre la densità di utenza viene calcolata come rapporto tra il numero di utenti ed il volume dell'edificio, sulla base delle notizie fornite dalle schede di censimento. Il numero di piani dell'edificio influisce sulla facilità di evacuazione, a prescindere dalle caratteristiche degli utenti.
- I_f (indice di funzione) è pari al prodotto tra U_{e1} , U_{e2} e U_{e3} . In cui il primo termine dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio relativamente alle condizioni antecedenti l'emergenza; il secondo dipende dall'uso in seconda emergenza; il terzo caratterizza il bacino di utenza. A seconda del parametro utilizzato gli edifici si distinguono in *essenziali*, *importanti* e *rilevanti* (a cui corrisponde per ogni classe un valore decrescente di indice). Gli edifici essenziali sono caratterizzati da indici alti e

corrispondono a destinazione d'uso di emergenza, quali ospedali, municipi, caserme, comunità montane. Le strutture importanti con valori medi di coefficienti si riferiscono a scuole e autoparchi. Infine, gli edifici rilevanti presentano valori minori e trattano uffici giudiziari, carceri, sedi postali, uffici.

Capitolo 2

VULNERABILITÀ DI UN EDIFICIO

Come predetto la vulnerabilità di un edificio esistente si può stimare attraverso diversi metodi, quelli utilizzati in questa tesi sono i *metodi diretti* e i *metodi indiretti*

2.1 METODI DIRETTI

Nei metodi diretti, il danno è valutato totalmente in maniera meccanico analitica. Si procede quindi ad un'analisi della struttura in genere del tipo non lineare. Il danno è associato al raggiungimento di uno stato limite che può essere identificato dal raggiungimento di una rotazione limite o di un meccanismo di collasso della struttura, mentre l'azione è generalmente espressa in termini di quantità spettrali come ad esempio la PGA.

L'attendibilità di questi metodi è quella ordinaria delle analisi strutturali applicate alle costruzioni esistenti. Questo tipo di metodo è comunemente applicato al calcolo della vulnerabilità di un singolo edificio di cui si ha un livello di conoscenza adeguato. Il punto critico degli approcci di natura meccanica è proprio quello di trovare un giusto equilibrio tra la raffinatezza del modello meccanico riferito alla singola struttura e l'impegno computazionale che ne deriva.

I metodi meccanici utilizzati in questa tesi per stimare la vulnerabilità sismica di un edificio sono:

- Curve di fragilità
- TreMuri – Analisi pushover
- Analisi cinematica lineare

2.1.1 Curve di Fragilità

Le curve di fragilità corrispondono alla probabilità che un insieme di fabbricati raggiungano lo stato limite, corrispondente al valore di un parametro di intensità sismica spettrale. La fragilità è definita mediante la seguente relazione:

$$\sum_a P[C \leq DIM = a] \sum_a P[C \leq DIM = a] \quad (8)$$

La precedente formula indica come la fragilità sia la sommatoria (sull'intensità sismica) delle probabilità che la capacità sia minore della domanda per una fissata intensità. È fondamentale

utilizzare spettri adeguati, poiché a seconda delle informazioni reperite si utilizzano diversi approcci.

Le curve di fragilità presentano in ascissa il valore di PGA. La PGA corrisponde alla Pick Ground Acceleration a_g , ovvero la misura della massima accelerazione del suolo provocata dal sisma. La curva di fragilità mostra la percentuale di costruzioni appartenente a una determinata classe che superano lo SLU fissato, in cui la capacità risulta essere minore rispetto alla domanda, il tutto al variare del valore di PGA. Perciò, considerando più spettri, si tende a far variare i valori di accelerazione al suolo per poter ottenere i valori di probabilità di superamento. Non conoscendo le informazioni geosismiche della zona in esame, in quanto piuttosto scarse, spesso si utilizza uno spettro normativo compatibile con l'aria di riferimento.

La fragilità viene quindi calcolata al variare della PGA degli spettri a forma costante. Avendo a disposizione più accelerogrammi il calcolo risulta essere molto più preciso, dato che si considerano anche le varie forme spettrali, anche se il metodo migliore risulta essere quello di ottenere le curve di pericolosità del sito. Ciò permette di considerare ogni spettro corrispondente a un dato valore di accelerazione del suolo a_g , che presentano probabilità di accadimento e diverse forme spettrali.

Per ogni lancio pseudo casuale si valuta la capacità e la domanda per una prefissata PGA (o PGV) ottenendo in caso di fallimento ($C \leq D$) un incremento di una variabile k di controllo. Al termine di tutti i lanci pseudo casuali la probabilità di fallimento sarà data dal rapporto tra k e il numero totale dei lanci, ottenendo per una fissata PGA un punto della curva di fragilità.

Un esempio di curva di fragilità è rappresentato in *Figura 8*. La curva mostra in ascissa i diversi valori di PGA, in ordinata la probabilità di collasso.

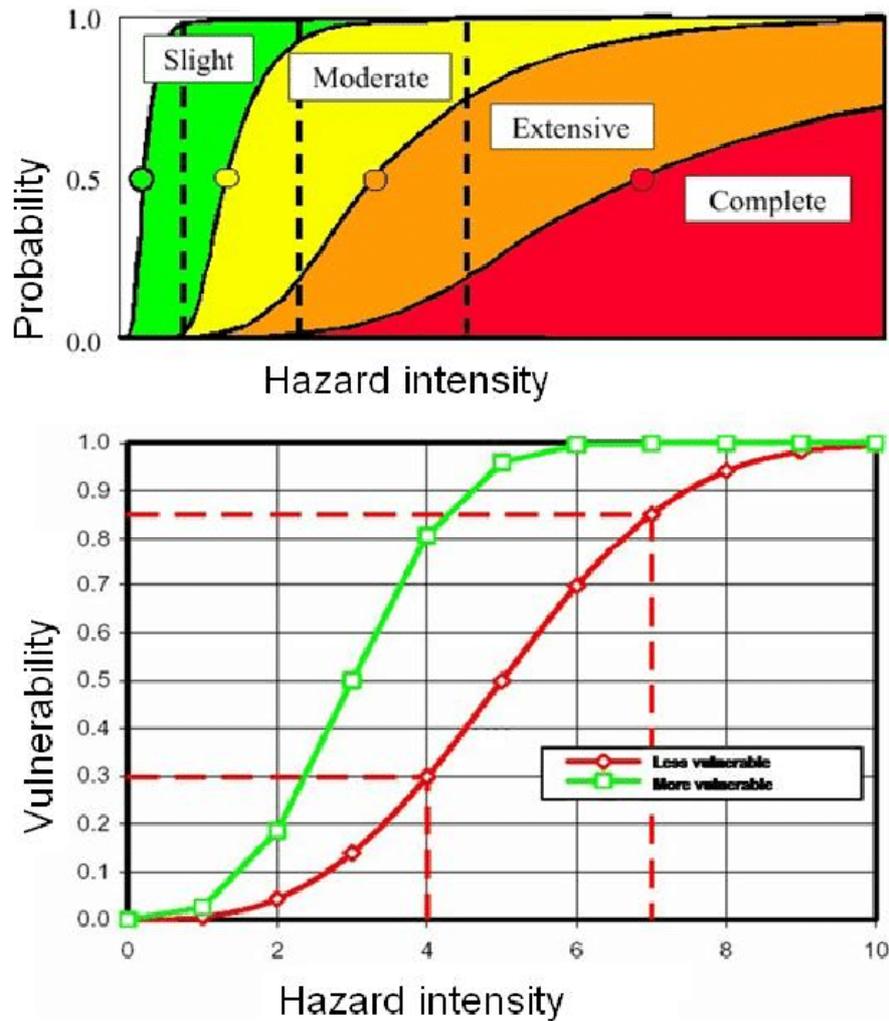


Figura 8 - Curve di fragilità

2.1.2 Analisi statica non lineare

L'analisi non lineare statica 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 (taglio alla base) F_b . Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale d_c di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione. **Il diagramma $F_b - d_c$ rappresenta la curva di capacità della struttura**".

[D.M.18 § 7.3.4.1 Analisi non lineare statica].

La curva di push-over ottenuta dall'analisi statica non lineare consente di verificare l'effettiva distribuzione della domanda inelastica negli edifici e può essere impiegata per il progetto di edifici di nuova costruzione o per la valutazione della capacità degli edifici esistenti.

La normativa prescrive tutti passaggi dell'analisi di push-over, che comprendono:

1. Definizione del modello non lineare della struttura
2. Applicazione dei carichi non sismici, cioè quelli relativi alla combinazione sismica:

$$Gk + Pk + \Sigma \Psi_{2i} Q_{ki} \quad (12)$$

3. Analisi di push-over
4. Riduzione a sistema ad 1-GDL
5. Bi-linearizzazione della curva di capacità
6. Calcolo del target displacement
7. Conversione a sistema a N-GDL
8. Verifica degli stati limite di interesse

Per condurre l'analisi, si devono considerare almeno due distribuzioni di forze di inerzia, ricadenti una nel Gruppo 1 (distribuzioni principali) e l'altra nel Gruppo 2 (distribuzioni secondarie):

Gruppo 1

- Distribuzione proporzionale alle forze statiche, applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75 %, e a condizione di usare come seconda distribuzione la 2 a);
- Distribuzione corrispondente ad una distribuzione di accelerazioni proporzionale alla forma del modo di vibrare, applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75 %;
- Distribuzione corrispondente alla distribuzione dei tagli di piano calcolati in un'analisi dinamica lineare, applicabile solo se il periodo fondamentale della struttura è superiore a T_c .

Gruppo 2

- Distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione;
- Distribuzione adattiva, che cambia al crescere dello spostamento del punto di controllo in funzione della plasticizzazione della struttura.

2.1.2.1 Curva di Push-over

L'Analisi non lineare viene fatta per passi, quindi la curva viene calcolata per punti: più passi si adottano, più precisa è la curva ottenuta e altrettanto preciso sarà il comportamento dell'edificio.

La curva si può ricavare applicando un controllo in forze o un controllo in spostamento; nel caso in esame è stato adottato il **controllo in spostamento**. Esso consiste nell'applicazione di distribuzioni di forze, per ricavarne gli spostamenti associati.

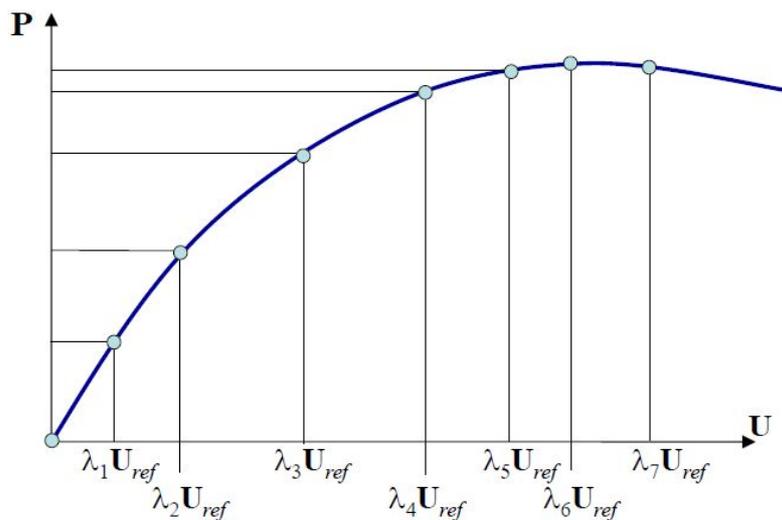


Figura 9 - Controllo in spostamento

Pertanto, sarà necessario individuare un **nodo di controllo**, rappresentativo degli spostamenti di tutta la struttura.

2.1.2.2 Valutazione della sicurezza strutturale

Per valutare che la struttura rispetti i limiti previsti dalla normativa in merito alla sicurezza, bisogna confrontare la capacità dell'edificio con la domanda.

2.1.2.3 Capacità

La capacità dell'edificio è rappresentata dalla **curva di pushover**. Per l'edificio in esame, i punti della curva avranno le seguenti coordinate:

ASCISSA: spostamento del punto di controllo;

ORDINATA: somma dei tagli alla base di ciascun maschio nella direzione della forza applicata; i tagli considerati sono quelli agenti nel piano del singolo pannello murario.

La curva ottenuta deve essere bilinearizzata con l'ipotesi di uguale energia.

5. Bi-linearizzazione della curva di capacità

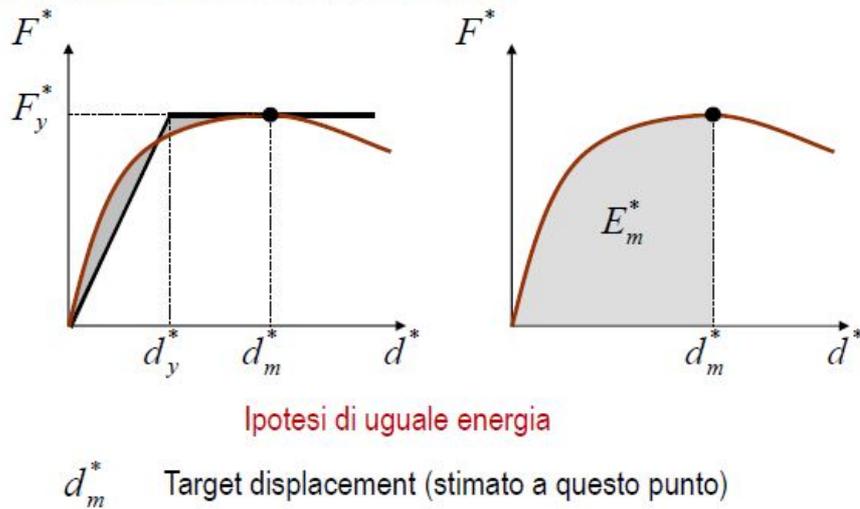


Figura 10 - Bilinearizzazione della curva di capacità

Il primo tratto lineare si ottiene partendo dall'origine e intersecando la curva nel punto di ordinata pari a $0,7F^*$. il secondo tratto di curva si traccia in modo tale che l'area sottesa dalle due curve (reale e bilinearizzata) sia uguale.

Il passaggio successivo consiste nel convertire la curva in spettro di capacità, dividendo i valori delle ordinate per il prodotto tra massa partecipante modale e accelerazione gravitazionale.

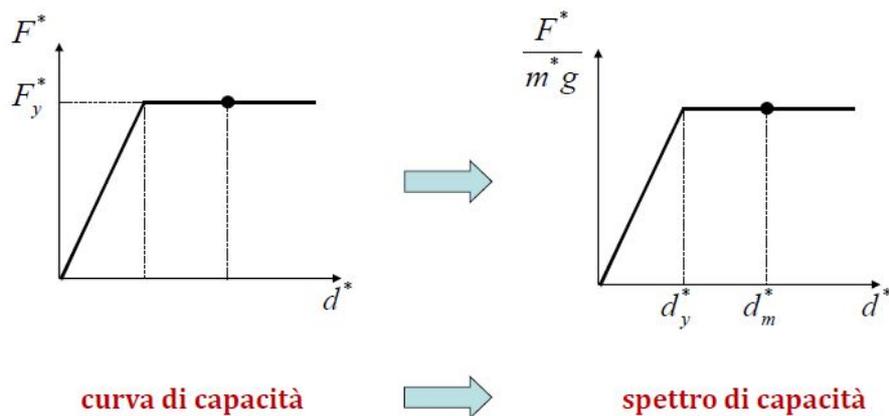


Figura 11 - Trasformazione della curva in spettro di capacità

(m^* = massa partecipante del modo di vibrare relativo nella direzione della forza applicata)

2.1.2.4 Domanda

La domanda è rappresentata dallo spettro ADRS, che si ottiene dallo spettro di progetto elastico fornito dalla normativa per il sito considerato. Le ordinate dello spettro ADRS sono analoghe a quello dello spettro elastico, mentre le ascisse si ricavano attraverso la seguente relazione:

$$S_{De}(T) = S_e(T) * (T/2\pi)^2 \quad (9)$$

dove $S_e(T)$ sono i valori delle rispettive ordinate, moltiplicate per g (accelerazione di gravità), e T i periodi dello spettro elastico.

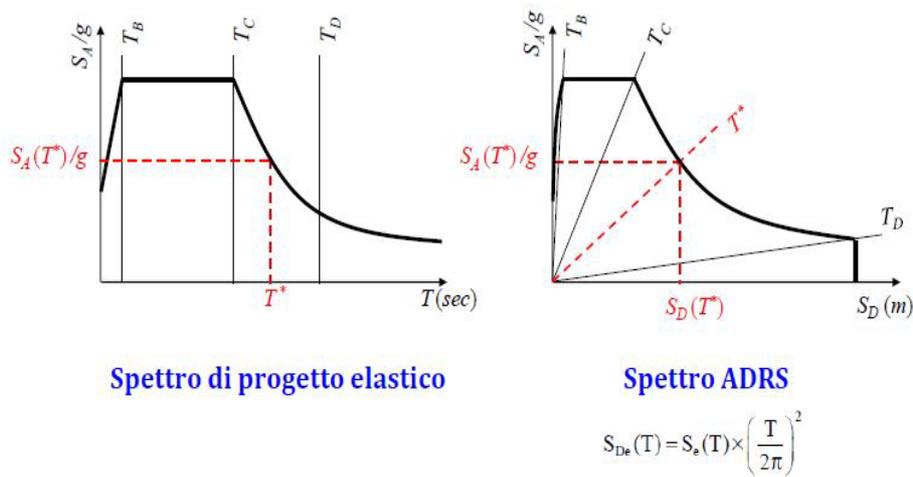


Figura 12 - Passaggio da spettro elastico e spettro ADRS

2.1.2.5 Confronto tra capacità e domanda

Per valutare la sicurezza dell'edificio bisogna confrontare la curva di capacità con lo spettro ADRS; la domanda è rappresentata dal target displacement e la capacità dallo spostamento ultimo della struttura, leggibile dalla curva di push-over.

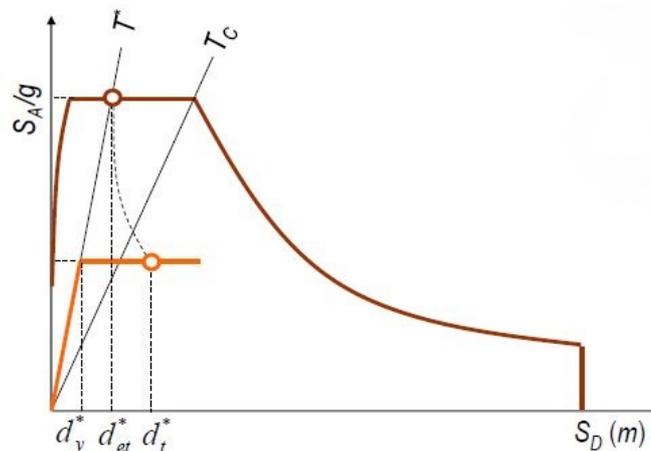


Figura 13 - Confronto tra spettro ADRS e spettro di capacità

d_{et}^* = target displacement;

d_t^* = spostamento ultimo.

Se lo spostamento ultimo è maggiore di quello target, la sicurezza della struttura è verificata.

La verifica di sicurezza è soddisfatta se *capacità* > *domanda*.

Quindi, se $d_t^*/d_{et}^* > 1$ la sicurezza della struttura è verificata.

2.1.3 Analisi cinematica lineare

Le analisi dei meccanismi locali di collasso fuori dal piano vengono qui sviluppate 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 cinematisimo

Per ogni possibile meccanismo locale ritenuto significativo per l'edificio, il metodo impiegato prevede la trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile attraverso l'individuazione di corpi rigidi definiti individuando possibili piani di frattura. Si considera nulla la resistenza a trazione della muratura; in genere si considera infinita la resistenza a compressione della stessa. I corpi sono in grado di ruotare o scorrere tra loro; per ogni meccanismo viene valutato il moltiplicatore orizzontale dei carichi λ che comporta la sua attivazione.

Per ottenere il moltiplicatore orizzontale dei carichi al quale fare riferimento in fase di verifica è necessario applicare ai blocchi rigidi che compongono la catena cinematica tutte le azioni che si esercitano sul sistema 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.

Il moltiplicatore λ si ottiene applicando il *Principio dei Lavori Virtuali*, in termini di spostamenti, uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne, applicate al sistema in corrispondenza di un atto di moto virtuale, al lavoro di eventuali forze esterne:

$$\lambda \left[\sum_{i=1}^n P_i \delta_{ix} + \sum_{i=n+1}^{n+m} P_j \delta_{jx} \right] - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{iy} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{ft} \quad (10)$$

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 al blocco;
- P_j è la generica forza peso, non direttamente applicata ai 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;
- δ_{ix} 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.
- δ_{jx} 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;
- δ_{iy} è lo spostamento virtuale del punto di applicazione dell' i -esimo peso P_i , positivo verso l'alto;
- F_h è il valore assoluto della generica forza esterna applicata ad un blocco;
- δ_h è lo spostamento virtuale del punto di applicazione dell' h -esima forza esterna, nella direzione della stessa e di segno positivo se di verso discorde;
- L_{fi} è il lavoro di eventuali forze interne

Gli spostamenti dei punti di applicazione delle forze sono calcolati tenendo conto della geometria della struttura, assegnando una rotazione virtuale al generico blocco.

2.1.4 Software 3muri

3muri è un programma informatico sviluppato appositamente per l'analisi strutturale e sismica degli edifici in muratura. Il programma è basato sull'approccio di modellazione dei telai equivalente, comprende diversi modelli a macroelementi per la simulazione di componenti strutturali in muratura e non in muratura. 3muri consente di eseguire analisi statiche e dinamiche non lineari di modelli di costruzione 3D completi con un compromesso ottimale tra precisione e carico di calcolo, fornendo anche una chiara comprensione dei risultati. 3muri è stato sviluppato da S. Lagomarsino, A. Penna, A. Galasco e S. Cattari. La versione accademica del programma è utilizzata da molti ricercatori in un certo numero di università in tutto il mondo. Il programma è stato ideato per eseguire l'analisi statica non lineare degli edifici in muratura secondo quanto indicato nell'ordinanza OPCM-3274/03 e 3431/05. In alternativa esegue le verifiche secondo le indicazioni del Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 o del Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996.

Il processo da seguire nella verifica della struttura da esaminare si compone delle seguenti fasi:

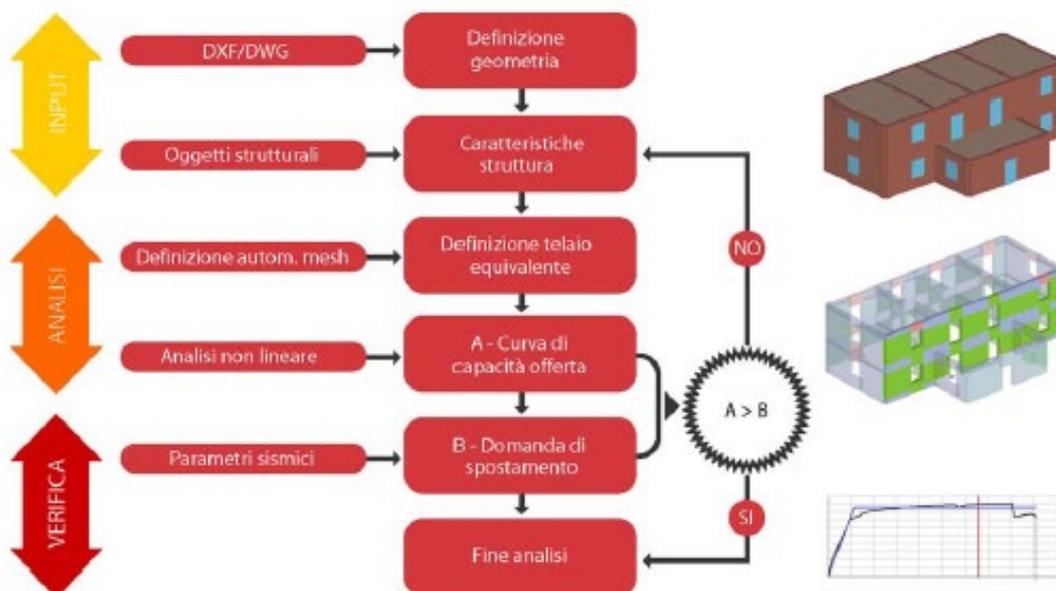


Figura 14 - Funzionamento TreMuri

La fase di **Input** prevede la costruzione del modello di calcolo, quindi il caricamento della geometria e delle caratteristiche degli elementi strutturali, dei materiali, dei carichi e dei vincoli.

La fase di **Analisi** prevede la costruzione della mesh secondo il metodo FME (Frame by Macro Elements), l'analisi push-over è svolta in automatico dal programma.

La fase di **Verifica** consente di valutare l'effettiva capacità di resistenza della struttura, con possibilità di interagire con i risultati.

2.1.4.1 Modellazione di un edificio in 3muri

La modellazione di un edificio con il *software* 3muri è molto intuitiva e di facile comprensione, si parte dalla definizione dei fili fissi delle pareti portanti nella finestra denominata "Pareti", come mostra la *Figura 15*:

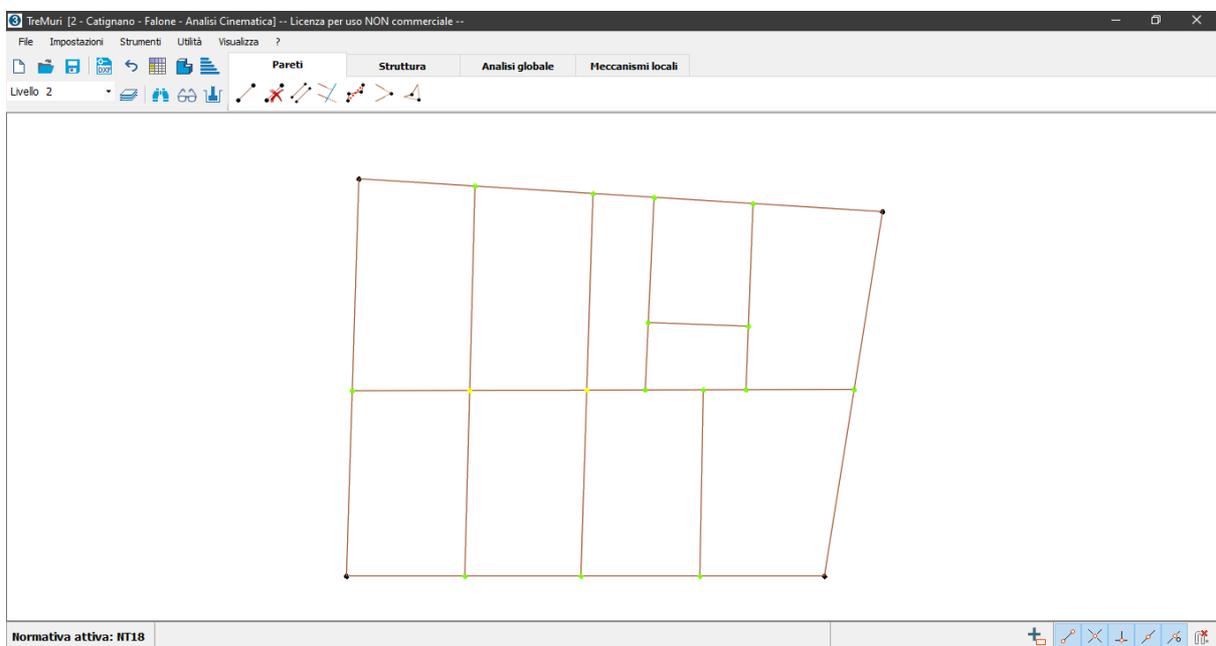


Figura 15 - Fili fissi pareti portanti

Una volta fatto ciò si passa nella finestra "Struttura", dove troviamo tutti i comandi per definire le caratteristiche della struttura. Il primo passo è impostare i materiali di cui si ha bisogno per la modellazione dell'edificio, si va dalla definizione della muratura alla definizione del cemento armato o acciaio da carpenteria, in base alle esigenze, come mostra la *Figura 16*:

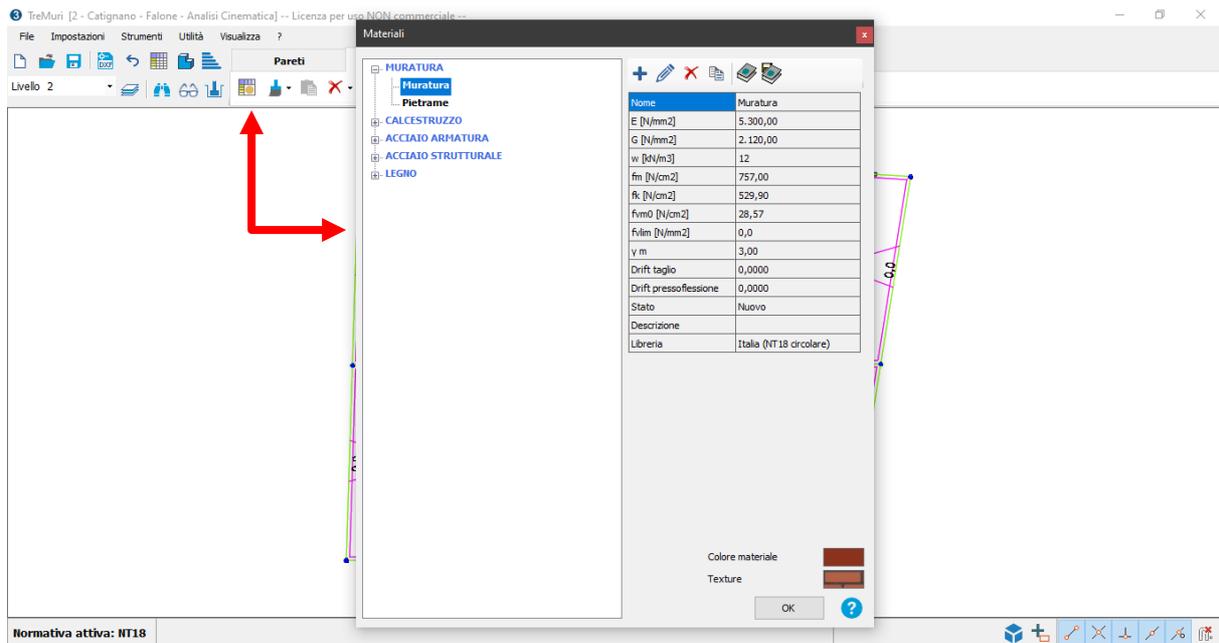


Figura 16 - Materiali

Una volta definiti le tipologie di muratura che occorrono si passa ad assegnare ad ogni filo fisso il tipo di elemento, che può variare a seconda del tipo di elemento che bisogna modellare (Pannello murario, Pannello murario + cordolo in C.A., ecc ecc), come mostrato in *Figura 17*:

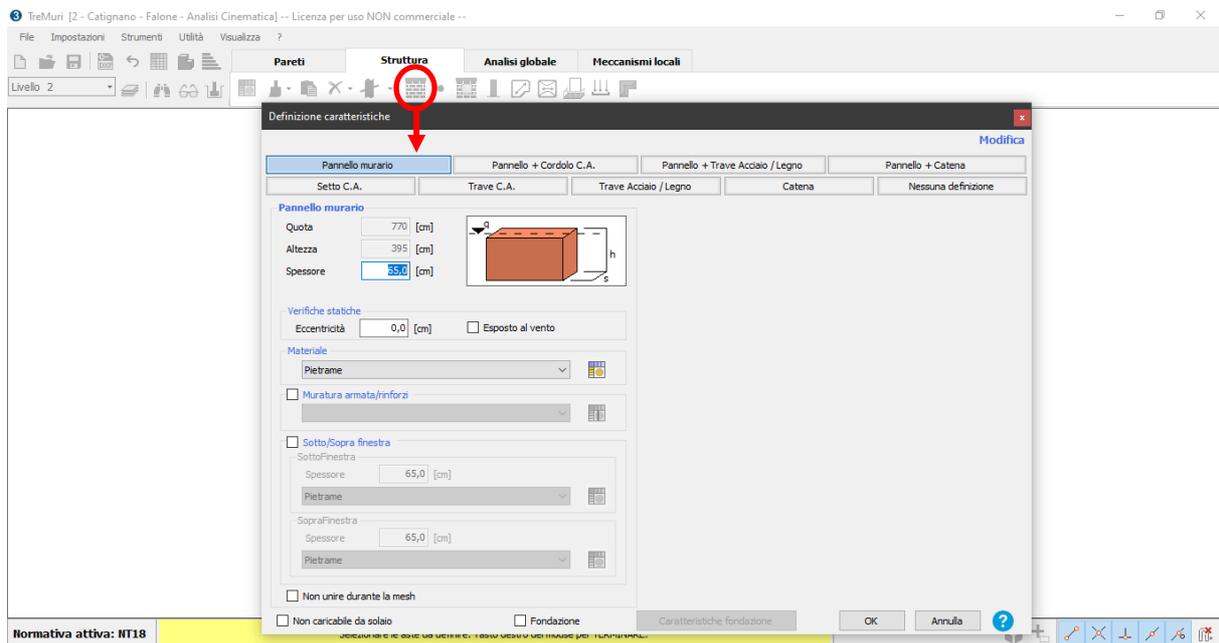


Figura 17 - Definizione caratteristiche

Fatto ciò si passa all'inserimento di eventuali aperture all'interno dei pannelli murari, si utilizza il comando "Foro", come mostrato in *Figura 18*, che ci consente di definire anche una cerchiatura in acciaio o C.A.

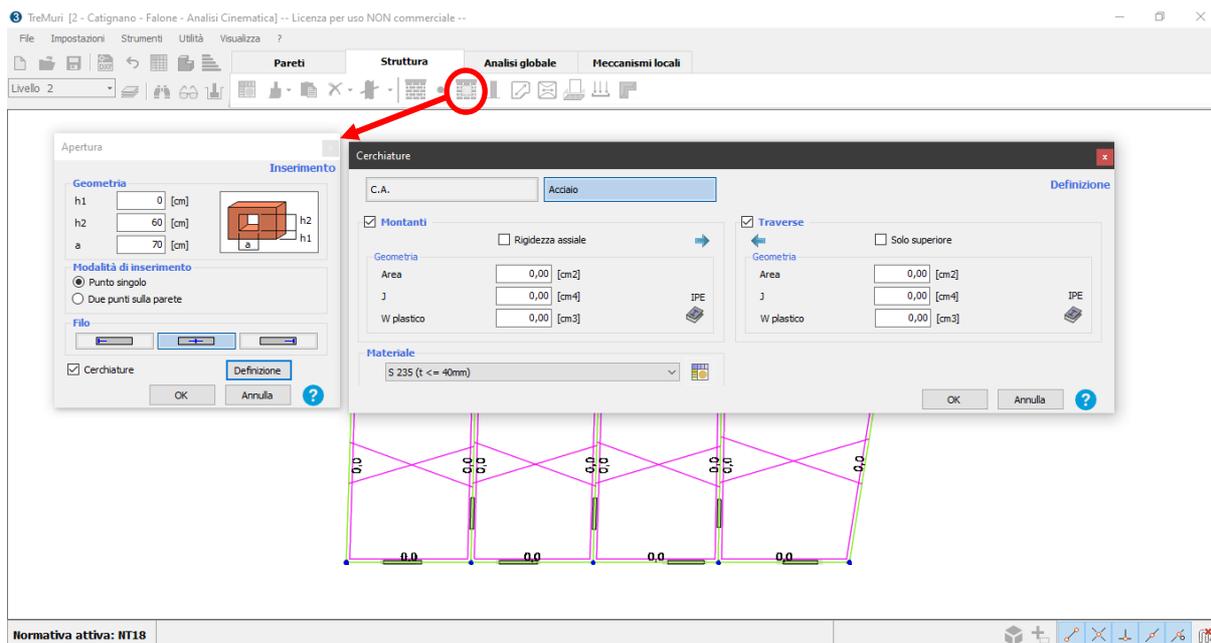


Figura 18 - Aperture e cerchiature

Definita la struttura verticale si passa alla definizione degli orizzontamenti, che sono suddivisi in due comandi distinti “Solaio” o “Volta”. Il programma consente di valutare l’effettiva rigidezza del solaio o volta oppure di assegnare un orizzontamento infinitamente rigido. All’interno del comando “Solaio” ci sono numerose tipologie di esso, come mostrato in *Figura 19*, una volta definita la rigidezza del solaio il programma ci fa definire i carichi in modo tale da applicarli alle strutture verticale automaticamente.

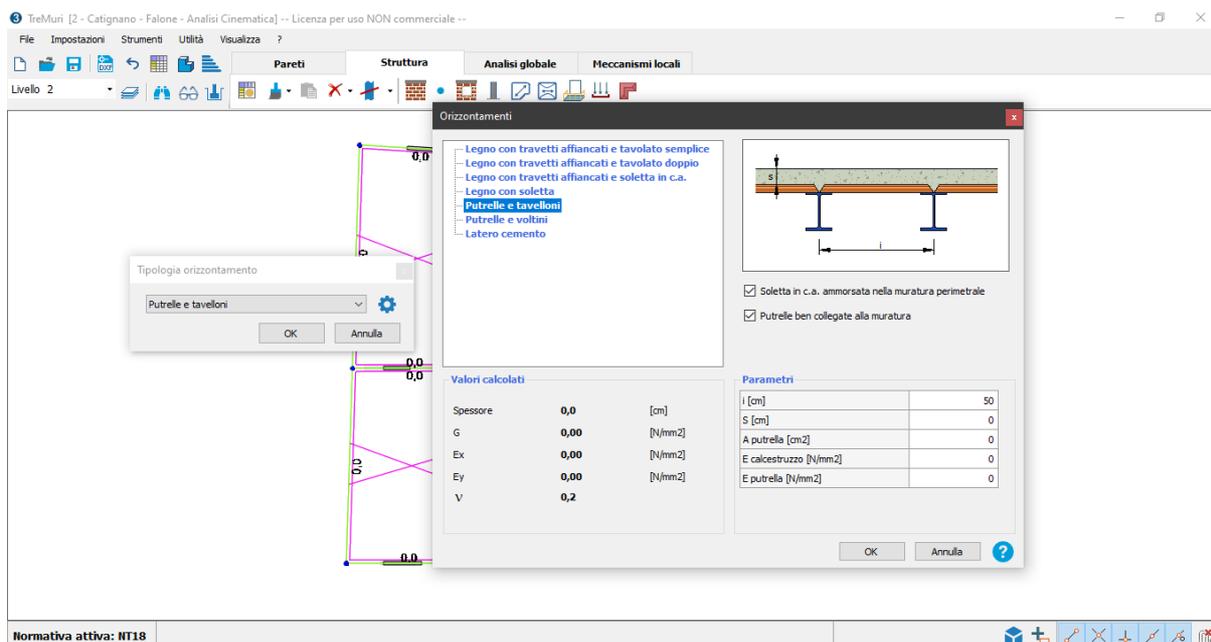


Figura 19 – Tipologia di orizzontamenti, Solaio

Analogamente all'interno del comando "Volta" ci sono numerose tipologie di volte, come mostrato in *Figura 20*, il programma calcola automaticamente la rigidezza della volta ed inserisce una membrana con eguale rigidezza. Inoltre, è possibile definire i carichi in questa fase, ed il programma li distribuirà automaticamente sulle strutture verticali.

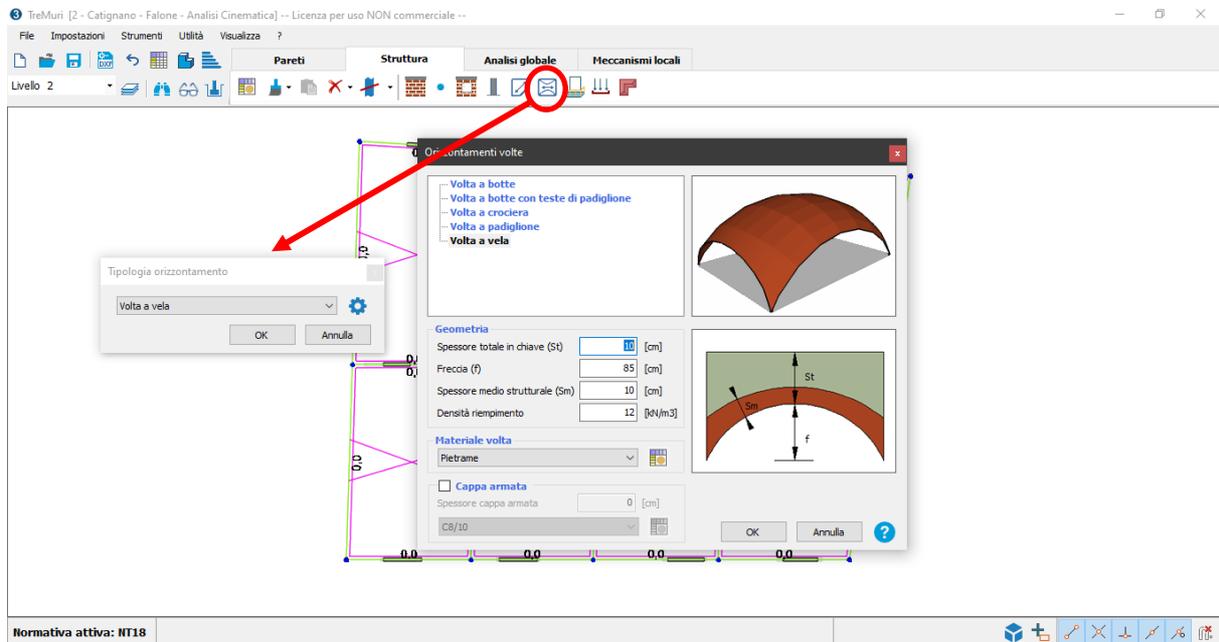


Figura 20 - Tipologie di orizzontamenti, Volte

Una volta definita la struttura verticale, quella orizzontale, si possono inserire carichi dovuti ai balconi o altri tipi di carico concentrato o distribuito. È presente anche un comando per la definizione della copertura.

2.1.4.2 Analisi statica non lineare

Passando al modulo di “Analisi globale” possiamo effettuare analisi statiche non lineare oppure semplicemente la verifica statica dell’edificio. Il primo passo per effettuare una analisi di push-over è far generare al programma la Mesh, cioè il telaio equivalente della struttura in muratura, cliccando sul comando “calcolo mesh modello” come mostrato in *Figura 21*:

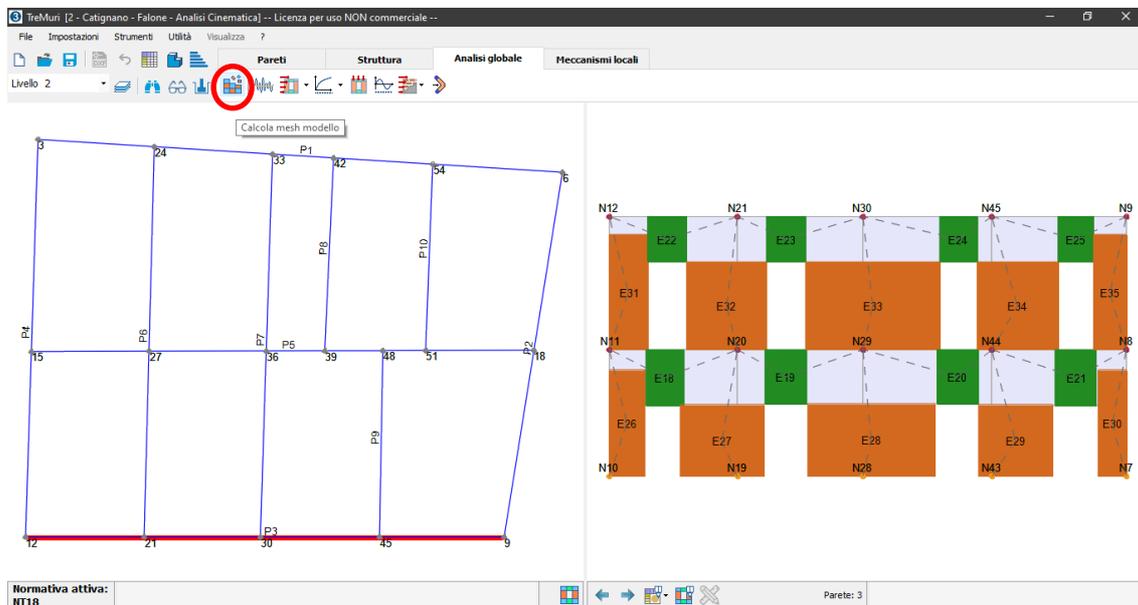


Figura 21 - Generazione del telaio equivalente

Una volta fatto ciò si deve definire il sisma di riferimento, attraverso il comando “Azione sismica”. All’interno del comando è possibile inserire gli spettri di progetto oppure farli auto generare dal programma selezionando il comune di riferimento. È possibile anche il fattore di amplificazione sismica locale ed il fattore di amplificazione topografica.

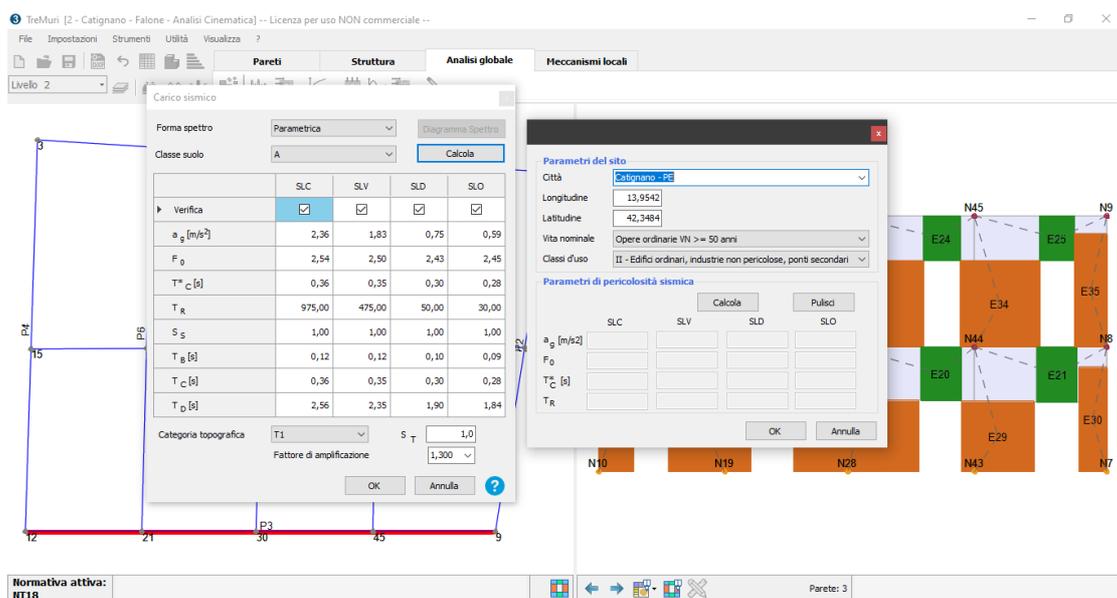


Figura 22 - Azione sismica

Definita la mesh e l'azione sismica manca da definire l'analisi, cliccando sul comando "Analisi" si apre un menù dove è possibile scegliere numerosi parametri, come la direzione del sisma, lo spostamento ultimo, gli step di analisi e tant'altro.

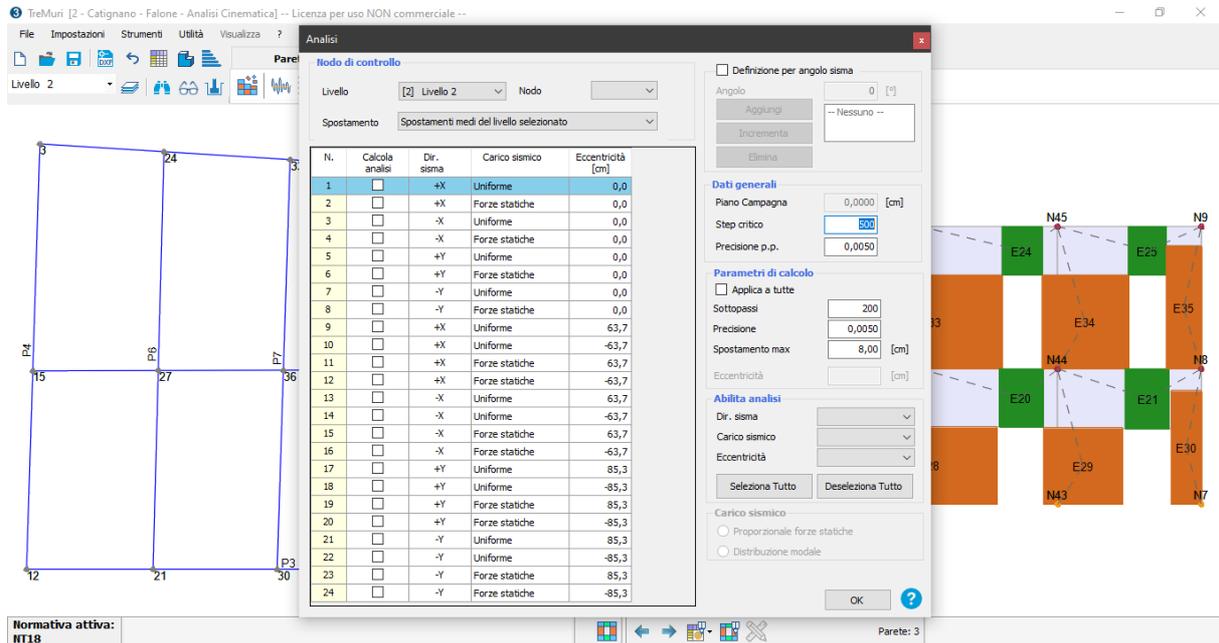


Figura 23 - Analisi

Possiamo visualizzare i risultati dell'analisi cliccando sul comando "Verifica analisi push-over", ed otteniamo una schermata come quella in Figura 24:

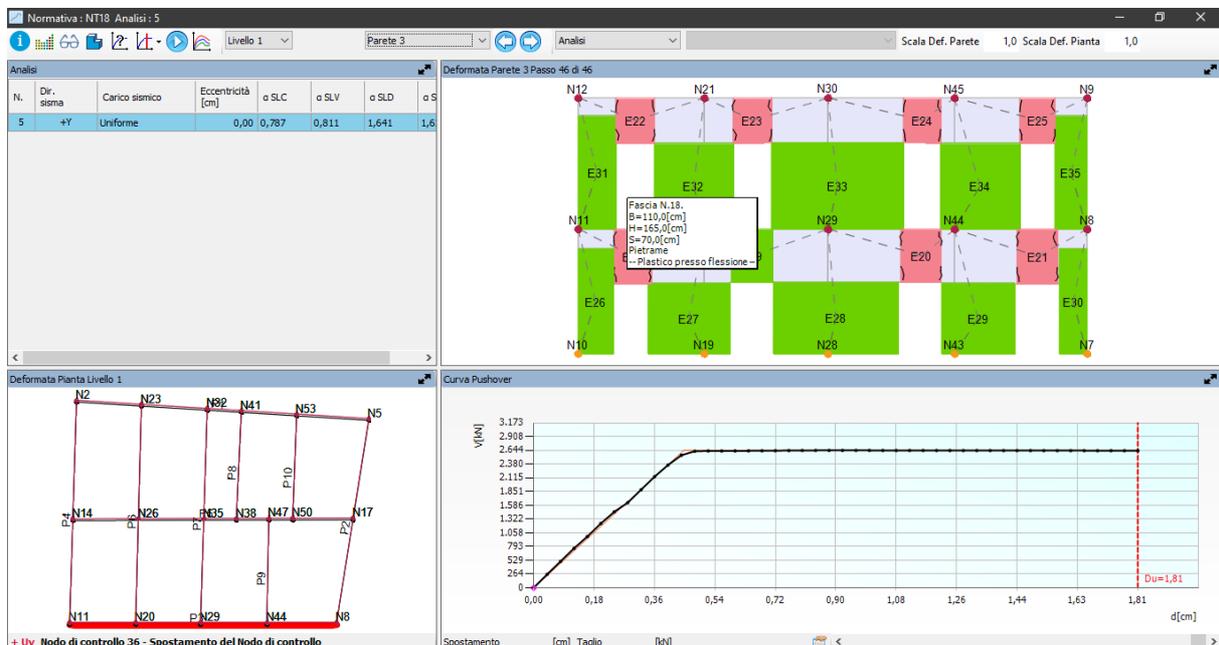


Figura 24 - Curva di push-over

Questa schermata ci consente di vedere la curva di push-over e se andiamo con il cursore sopra un elemento (maschio o fascia) ci indica il tipo di rottura a cui è soggetto.

2.1.4.3 Analisi cinematica lineare in 3muri

Passando al modulo “Meccanismi locali” è possibile effettuare l’analisi cinematica lineare dell’edificio, definendo attraverso l’inserimento di blocchi rigidi e cerniere il cinematismo che si vuole studiare. Una volta definito il cinematismo attivo si deve disegnare il blocco rigido che vogliamo considerare, come mostrato in *Figura 25*:

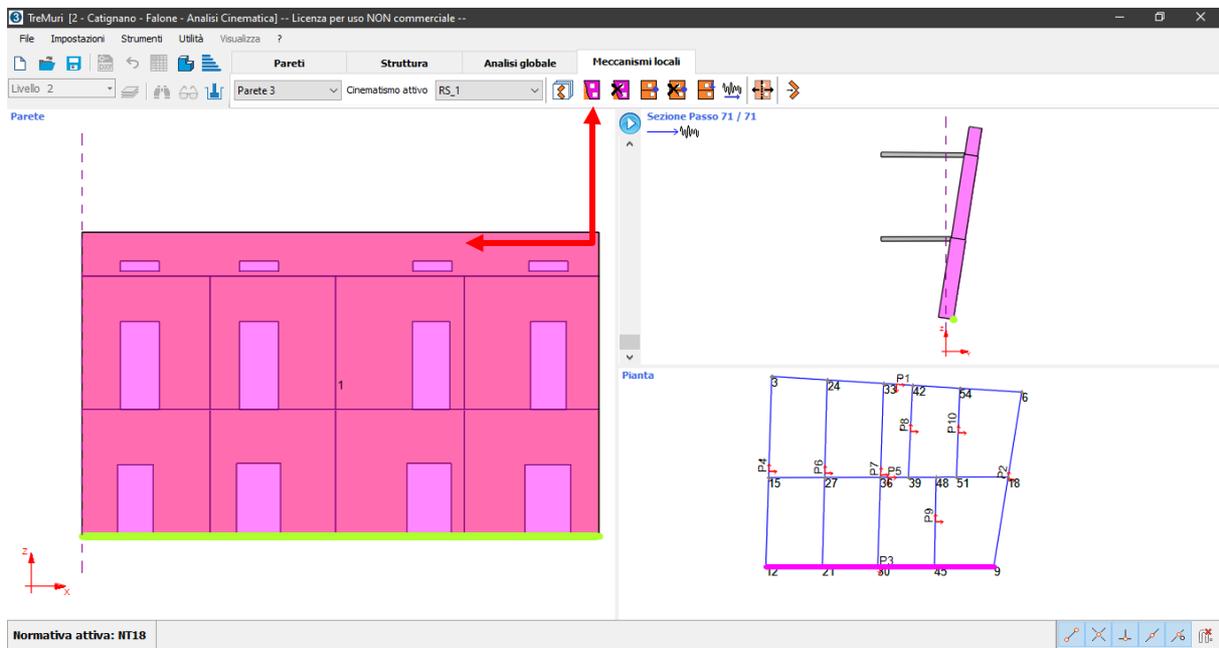


Figura 25 - Inserimento blocco rigido

Fatto ciò si va a definire la posizione della cerniera di rotazione attorno la quale il blocco rigido va a ruotare.

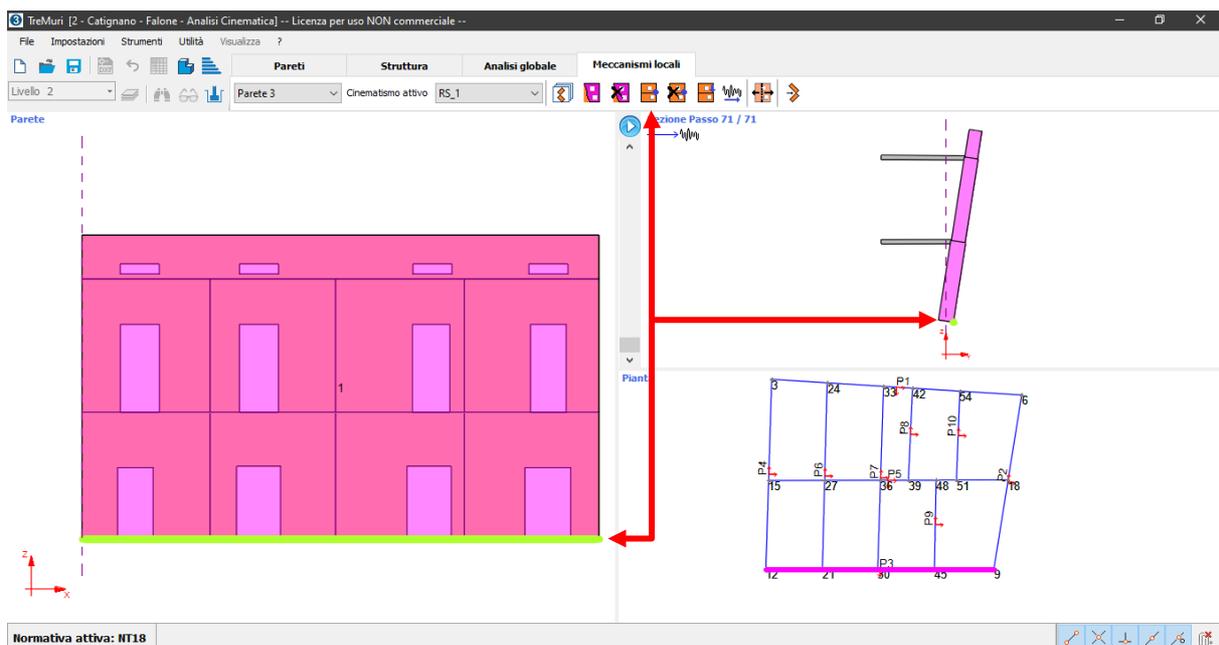


Figura 26 - Definizione cerniera

A questo punto basta cliccare sul comando “Calcolo cinematico attivo” per ottenere i risultati di calcolo. Nella Figura 27 possiamo vedere i risultati di calcolo a sinistra, mentre in alto a destra possiamo visualizzare il cinematico definito.

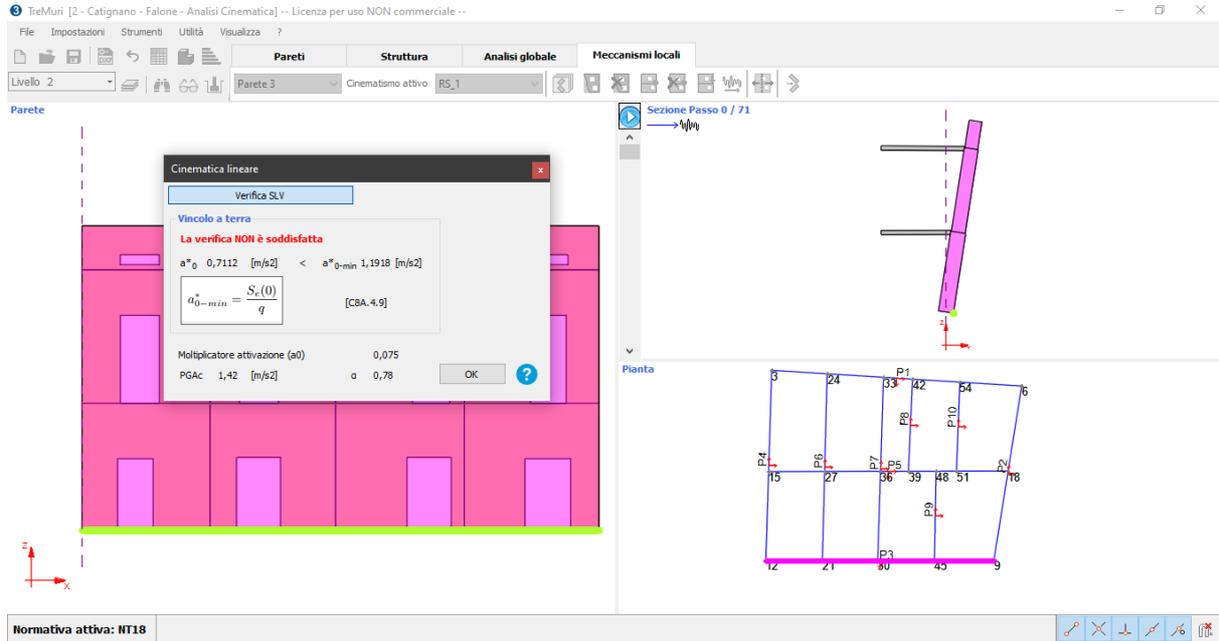


Figura 27 – Risultati

Il programma 3muri ci consente di definire numerosi cinematici, poiché lascia all’utente la possibilità di definirli attraverso i passaggi visti precedentemente.

2.2 METODI INDIRETTI

I metodi indiretti ci consentono di determinare l'indice di vulnerabilità V attraverso un'analisi speditiva a vista. Si possono contare diversi metodi indiretti, ma quelli utilizzati nella tesi sono:

- Scheda di vulnerabilità di 2° livello G.N.D.T.
- Metodo Macrosismico

2.2.1 Scheda di vulnerabilità di 2° livello G.N.D.T.

La determinazione dell'indice di vulnerabilità attraverso la scheda di 2° livello G.N.D.T. rientra in una metodologia "basata sul giudizio degli esperti". Cioè ci si basa sulla possibilità di attribuire ad ogni edificio un indice di vulnerabilità e cioè un numero che viene determinato secondo certe regole sulla base di indicatori non più interpretati con significato tipologico ma come sintomi di un' idoneità a sopportare i terremoti (ad esempio l'efficienza dei collegamenti, la resistenza dei materiali, la regolarità morfologica); in un secondo tempo si associa ad ogni valore dell'indice di vulnerabilità una curva di vulnerabilità o una matrice di probabilità di danno.

Normalmente l'indice di vulnerabilità è calcolato in funzione di indici parziali corrispondenti a ciascun indicatore ed attribuibili a seguito di esami qualitativi dell'edificio. Questo tipo di metodo, del tipo semi-qualitativo, o anche tipologico-diagnostico, attua delle valutazioni qualitative o quantitative dei fattori che governano la risposta sismica e le relative elaborazioni basate sulla conoscenza, pur conservando i caratteri di rapidità di impiego e di economicità, consentono di introdurre informazioni sulla regolarità, duttilità, sulle resistenze, geometria etc. ottenendo la valutazione di un indice di vulnerabilità.

Il problema di questi metodi è che non sono meccanico-analitici e quindi considerano il comportamento di tipologie di edifici sulla base dell'esperienza e della conoscenza.

La compilazione delle schede di secondo livello riguarda sia edifici in cemento armato sia edifici in muratura, assegnando un punteggio da -25 a 100 per i primi e da 0 a 100 per i secondi. Sono definiti nella scheda vari parametri che permettono una corretta valutazione, accompagnati da schemi e richiami.

Per la muratura si considerano: Tipo e organizzazione del sistema resistente, qualità del sistema resistente, Resistenza convenzionale, Posizione dell'edificio e Fondazione,

Orizzontamenti, Configurazione Planimetrica, Configurazione in elevazione, D_{max} , Copertura, Elementi non strutturali, Stato di fatto.

Per la una giusta compilazione della scheda in questa tesi ci si è avvalsi di un manuale scaricabile direttamente sul sito della Regione Marche (<http://oldrischiosismico.regione.marche.it/RISCHIO-SISMICO/Vulnerabilità-Sismica-Schede-cartacee-Manuali/Manuale-compilazione-Schede-2-livello>).

Dato l'accurato rilievo necessario per la compilazione di tale scheda, quest'ultima è incompatibile con i tempi di gestione dell'emergenza. In effetti, la scheda è finalizzata ad analisi preventive di vulnerabilità sismica, ad esempio a supporto di valutazioni di costo/benefici di operazioni sistematiche di rinforzo degli edifici.

Nella *Figura 28* sottostante mostra la scheda di vulnerabilità di secondo livello per la muratura.

G.N.D.T. – SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)



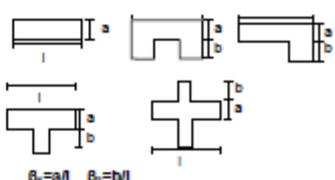
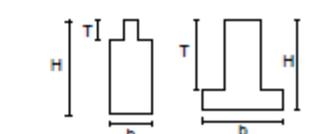
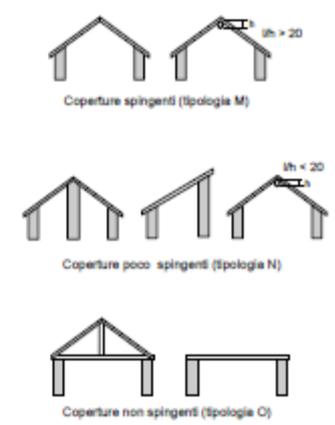
Codice ISTAT Provincia ¹		Codice ISTAT Comune ³		Scheda N° ⁷	
PARAMETRI	Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI – RICHIAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	11	22	Norme nuove costruzioni (Clas. A) ³³ 1	Parametro 3. Resistenza convenzionale Tipologia strutture verticali τ_v (t/mq) _____ _____ _____ _____ _____ Minimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Massimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Coeff. $a_0 = A/A_c$ _____ Coeff. $\gamma = B/A$ _____ $q = (A_x + A_y) h p_m / A_c + p_s$ _____ $C = \frac{a_0 \tau_k}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1,5 q \tau_k (1 + \gamma)}}$ $\alpha = C/0,4$ _____
				Norme riparazioni (Clas. A) 2	
Cordoli e catene tutti i livelli (Clas. B) 3					
Buoni ammorsam. fra muri (Clas. C) 4					
Senza cordoli cattivi ammors. (Clas. D) 5					
2	QUALITÀ DEL S.R.	12	23	(vedi manuale) ³⁴	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	13	24	Numero di piani N ³⁵	Parametro 6. Configurazione planimetrica  $\beta_1 = a/l$ $\beta_2 = b/l$
				Area totale coperta A_t (mq) ³⁷	
Area A_x (mq) ⁴¹					
Area A_y (mq) ⁴⁴					
τ_v (t/mq) ⁴⁷					
Alt. media interpiano h (m) ⁵⁰					
Peso specifico pareti p_m (t/mc) ⁵²					
Carico permanente solai p_s (t/mq) ⁵⁴					
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	14	25	Pendenza percentuale del terreno ⁵⁶	
				Rocce Fondazioni: Si 1 No 2	
Terr. solotto non sping. Fond. Si 3 No 4					
Terr. solotto spingente Fond. Si 5 No 6					
Differen. max di quota Δh (m) ⁵⁹					
5	ORIZZONTAMENTI	15	26	Piani sfalsati Si 1 No 2	Parametro 7. Configurazione in elevazione 
				Orizzontamenti rigidi e ben collegati ⁶⁵ 1	
Orizzontam. deformabili e ben collegati 2					
Orizzontam. rigidi e mal collegati 3					
Orizzontam. deformabili e mal collegati 4					
% Orizzontam. rigidi e ben collegati ⁶⁴					
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	16	27	Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$ ⁶⁶	
				Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$ ⁷⁰	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	17	28	% aumento (+) o diminuzione(-) di massa ⁷⁴	Parametro 9. Copertura 
				Rapporto percentuale T/H ⁷⁷	
Percentuale superficie porticata ⁷⁹					
Piano terra porticato Si 1 No 2					
8	D_{max} MURATURE	18	29	Rapporto massimo l/h ⁸²	
				Copert. non sp. ⁸⁴ <input checked="" type="checkbox"/> poco sp. 1 sp. 2	
9	COPERTURA	19	30	Cordoli in copertura Si ⁸⁵ 1 No 2	
				Catene in copertura Si ⁸⁶ 1 No 2	
Carico perman. coper. p_c (t/mq) ⁸⁷					
Lungh. appoggio coper. l_s (m) ⁹⁰					
Perimetro copertura l (m) ⁹³					
10	ELEM. NON STRUTT.	20	31	(Vedi manuale)	
11	STATO DI FATTO	21	32	(Vedi manuale)	

Figura 28 - Scheda GNDT-CNR 2° livello

La compilazione della scheda è legata all'attribuzione di una classe ad ogni parametro. Le classi sono contraddistinte dalle lettere A-B-C-D e ad ognuna di esse corrisponde un punteggio con relativo peso, come mostrato nella *Tabella 1*:

EDIFICI IN MURATURA					
Parametro	Punteggi				Peso
	A	B	C	D	
1 - Org. sist. resist.	0	5	20	45	1.0
2 - Qual. sist. res.	0	5	25	45	.25
3 - Resist. convenzionale.	0	5	25	45	1.5
4 - Pos. edif. e fond.	0	5	25	45	.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	var
6 - Config. planim.	0	5	25	45	.5
7 - Config. in elev.	0	5	25	45	var
8 - Dist. max. murat.	0	5	25	45	.25
9 - Copertura	0	15	25	45	var
10 - Elem. non strutt.	0	0	25	45	.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	1.0

Tabella 1 - Punteggi Edifici Muratura

Per quanto riguarda il calcolo del *Peso* dei parametri 5,7,9 si fa riferimento ad una procedura come la seguente:

- Parametro 5: $P_5 = 0.5(100/\alpha_0)$
dove α_0 è la percentuale di orizzontamenti rigidi e ben collegati. Se P_5 risultasse maggiore di 1 si assumerà 1.
- Parametro 7:
 $P_7 = 0.5$ se l'irregolarità dell'edificio è data solamente dalla presenza di porticati al piano terra
 $P_7 = 1$ in tutti gli altri casi
- Parametro 9: $P_9 = 0.5 + \alpha_1 + \alpha_2$ dove:
 $\alpha_1 = 0.25$ per copertura in latero-cemento o comunque di peso maggiore o uguale a 200 kg/m^2
 $\alpha_1 = 0$ in tutti gli altri casi
 $\alpha_2 = 0.25$ se il rapporto tra il perimetro della copertura e la lunghezza complessiva delle zone di appoggio è maggiore o uguale a 2
 $\alpha_2 = 0$ in tutti gli altri casi

Per calcolare l'indice di vulnerabilità I_v^* basta sommare i punteggi dei vari parametri moltiplicati per il relativo peso, come nella seguente espressione:

$$I_V^* = \sum_{i=1}^{11} C_{vi} \cdot w_i \quad (11)$$

Per ottenere un valore dell'indice di vulnerabilità in una scala tra 0 e 100, bisogna dividere l'indice precedentemente calcolato per 3,825, come nella seguente espressione:

$$I_V = \frac{I_V^*}{3.825} \quad (12)$$

Ricordiamo che si tratta di un indice di vulnerabilità, quindi esso esprime con il valore tendente a 100 l'Alta vulnerabilità dell'edificio mentre con il valore tendente a 0 la Bassa vulnerabilità dello stesso.

2.2.1.1 Stima del grado medio di danno

La compilazione della scheda ci consente di stimare un indice di vulnerabilità dell'edificio analizzato ma non ci da nessuna informazione sul danno che esso può subire sotto l'azione di un sisma.

Ci si è avvalsi di una metodologia utilizzata da (Ferreira et al., 2013) per la valutazione della vulnerabilità sismica dei centri storici, caso studio Seixal, Portogallo. Tale metodo ci consente di stimare il grado medio di danno μ_D per diverse intensità macrosismiche in base all'indice di vulnerabilità dell'edificio come mostrato nell'equazione sottostante:

$$\mu_D = 2.5 \times \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 \times V - 13.1}{Q} \right) \right] \quad (13)$$

Dove I è il rischio sismico descritto in termini di intensità macrosismica, Q è un fattore di duttilità che descrive la duttilità di una certa tipologia costruttiva (va da 1 a 4), V è l'indice di vulnerabilità che viene calcolato secondo l'equazione sottostante:

$$V = 0.592 + 0.0057 \times I_v \quad (14)$$

Tale metodologia ci consente di graficizzare le curve di vulnerabilità, mettendo in ascissa l'intensità macrosismica ed in ordinata il grado medio di danno, come in *Figura 29* che mostra le curve di vulnerabilità di diversi edifici aventi differenti indici di vulnerabilità.

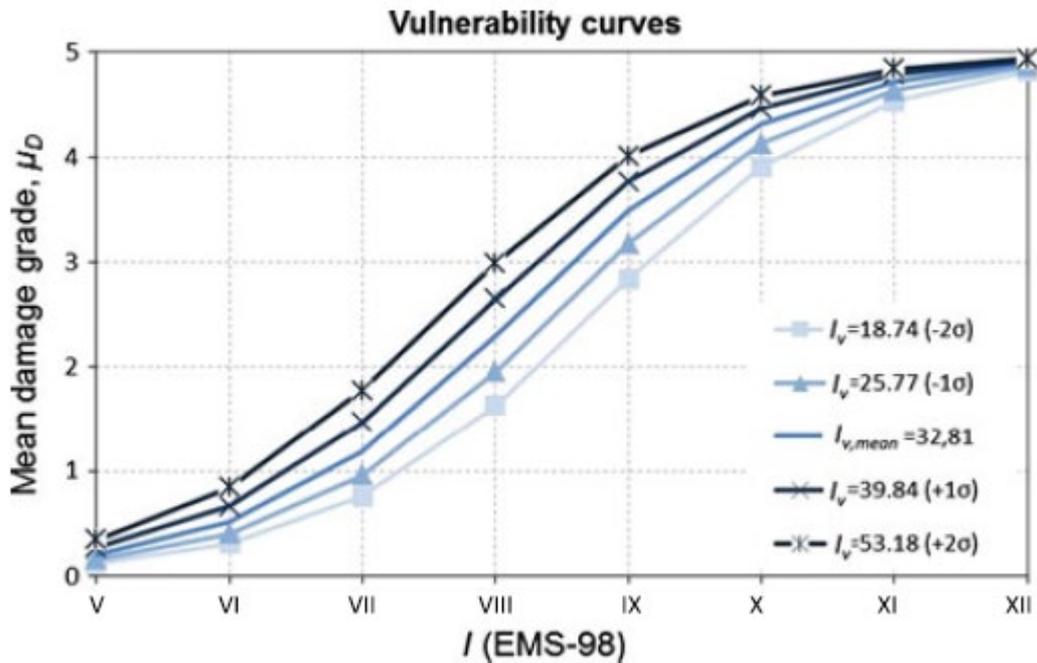


Figura 29 - Curve di vulnerabilità (Ferreira et al. 2013)

Il grado medio di danno μ_D può avere un valore ricadente nell'intervallo da 0 a 5 come definito in precedenza, facendo riferimento alla Scala Macrosismica Europea.

La stima del grado medio di danno, come esplicitata in precedenza, non tiene conto dell'amplificazione sismica locale, che ha effetti non trascurabili a meno che non ci si trovi su roccia. In tutti gli altri casi ci si avvale della formulazione proposta da (Giovinazzi & Lagomarsino, 2004) che tiene conto di un incremento della vulnerabilità V introducendo:

$$V^* = V + \Delta V \quad (15)$$

$$\Delta V = \frac{\ln(F_a)}{0.602} \quad (16)$$

dove F_a è il fattore di amplificazione sismica che dipende dalle condizioni locali dov'è ubicato l'edificio.

2.2.2 Metodo Macrosismico

Il metodo macrosismico può essere definito come un metodo empirico, cioè un metodo che utilizza un tipo di approccio che è sicuramente il più diffuso e basato sull'analisi statistica dei danni provocati dai terremoti. Tutta via l'accuratezza di tali metodi dipende dalla disponibilità dei dati.

A differenza dei metodi diretti, che valutano la vulnerabilità di un singolo edificio con un'analisi di dettaglio, il metodo macrosismico valuta la vulnerabilità di aggregati urbani di edifici basandosi sulla definizione di classi caratterizzate da indicatori tipologici o funzionali.

Ad ogni classe è associabile una matrice di probabilità di danno o una curva di vulnerabilità. La verifica delle ipotesi formulate in sede di costruzione delle curve di vulnerabilità o delle matrici di danno è affidata all'elaborazione statistica dei danni causati dai terremoti passati (analisi a posteriori). In questo modo assegnando un edificio ad una certa classe gli si assegna automaticamente la curva di vulnerabilità, o la matrice di probabilità di danno, che competono alla classe.

Questo metodo è alla base della Scala Macrosismica Europea elaborata da (Grünthal, 1998) la quale assume la costruzione come strumento di misura del terremoto, stabilendo una equivalenza tra la scala del danneggiamento e la scala dell'intensità della scossa. EMS-98 ci fornisce una classificazione delle varie tipologie costruttive come mostrato in *Figura 30*.

TIPO DI STRUTTURA	Classi di Vulnerabilità					
	A	B	C	D	E	F
MURATURA	ciottoli, pietre naturali	○				
	adobe (mattoni in terra cruda)	○	—			
	a conci (pietra semplice sbazzata)	—	○			
	a blocchi lapidei squadri		—	○		
	non armata, con elementi di pietra lavorata o blocchetti	—	○			
	non armata, con solai in cemento armato armato o confinata		—	○		
CEMENTO ARMATO (CA)	strutture a telaio senza progettazione antisismica (PA)		—	○		
	strutture a telaio con moderato livelli di progettazione antisismica PA		—	○		
	strutture a telaio con alto livello di PA			—	○	
	strutture a pareti senza PA	—	○			
	strutture a pareti con moderato livello di PA		—	○		
	strutture a pareti con alto livello di PA			—	○	
ACCIAIO				—	○	
LEGNO		—	○			

○ Classe di vulnerabilità più probabile; — gamma possibile;
 ---- gamma di casi meno probabili o eccezioni

Figura 30 – Classificazione delle tipologie di edifici EMS-98

È stato poi definito che in caso di evento sismico un edificio può subire fino a sei diversi danni, da 0 (nessun danno) a 5 (collasso). Tutti i livelli di danno sono stati rappresentati graficamente e correlati di una breve descrizione come mostrato in *Figura 31*.

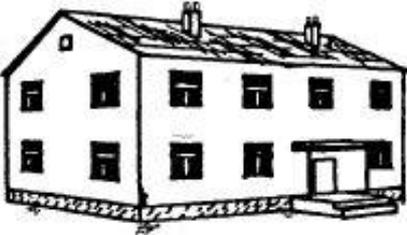
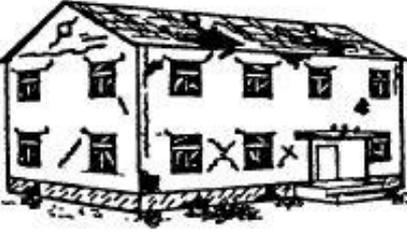
Classification of damage to masonry buildings	
	<p>Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.</p>
	<p>Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.</p>
	<p>Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).</p>
	<p>Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.</p>
	<p>Grade 5: Destruction (very heavy structural damage) Total or near total collapse.</p>

Figura 31 - Grado di danno edifici in muratura

Capitolo 3

**ANALISI CASO STUDIO:
COMUNE DI CATIGNANO (PE)**

3.1 RACCOLTA DATI

3.1.1 Edifici Catignano

La raccolta dei dati è stata effettuata stabilendo direttamente un contatto con i tecnici che operano nel territorio di Catignano. Grazie alla collaborazione del sindaco che oltre ad aver dato accesso alle schede AeDes in forma anonima, ha raccolto dati necessari alla tesi da altri tecnici. I dati raccolti sono:

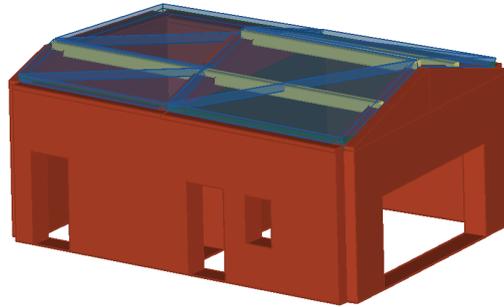
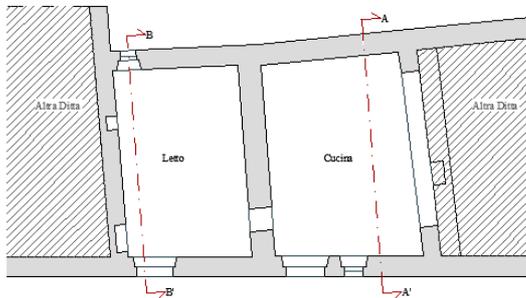
- Elaborati architettonici
- Schede AeDes anonime
- Report fotografico
- Computo metrico estimativo

La mole di dati era notevole, 7 edifici, si è scelto di analizzare 3 edifici poiché erano gli unici adatti ad effettuare le analisi rigorose. Inoltre, un altro criterio di scelta degli edifici è la vicinanza di essi alle verticali geologiche di sondaggio. Questo perché il fattore di amplificazione locale è stato calcolato per una verticale sola, in corrispondenza del centro storico, ed alcuni edifici si trovavano molto distanti da essa in condizioni di sottosuolo completamente diverse.

Gli edifici selezionati sono stati “schedati” nelle pagine successive mentre tutti i dati ed le analisi effettuate su di essi sono riportate nel capitolo 4, Allegati.

Modello Strutturale

PIANTA PIANO TERRA

**Caratteristiche**

Anno di Costruzione: <1919

Destinazione d'uso: Civile Abitazione

Stato di conservazione: Discreto

Fondazioni in: Pietrame disordinato

Struttura portante in: Pietrame disordinato

Orizzontamenti in: Legno

Copertura in: Legno

Rinforzi: Nessuno

Stato: Abitato

Esito agibilità: Temporaneamente inagibile

Allegati

Pianta piano terra, copertura

Sezioni

Prospetti

Scheda AeDes

Computo metrico estimativo

Report fotografico

Interventi di Rinforzo

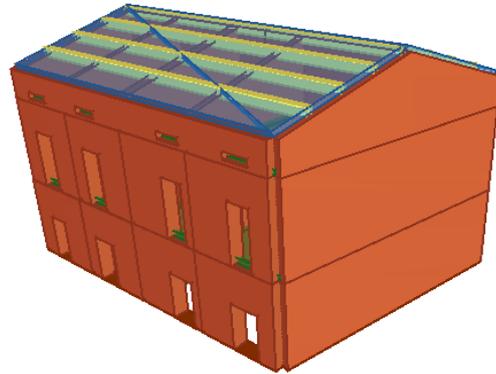
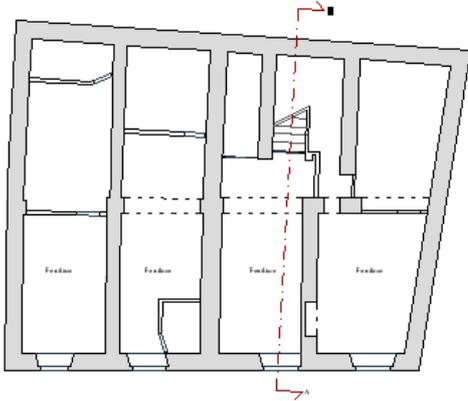
Intonaco armato con rete elettrosaldata

Cordolo in C.A.

Ripristino copertura

Modello Strutturale

PIANTA PIANO TERRA

**Caratteristiche***Anno di Costruzione:* <1919*Destinazione d'uso:* Civile Abitazione*Stato di conservazione:* Discreto*Fondazioni in:* Pietrame disordinato*Struttura portante in:* Pietrame disordinato*Orizzontamenti in:* Volte in muratura*Copertura in:* Legno*Rinforzi:* Nessuno*Stato:* Abitato*Esito agibilità:* Temporaneamente inagibile**Allegati**

Pianta piano terra, copertura

Sezioni

Prospetti

Scheda AeDes

Computo metrico estimativo

Report fotografico

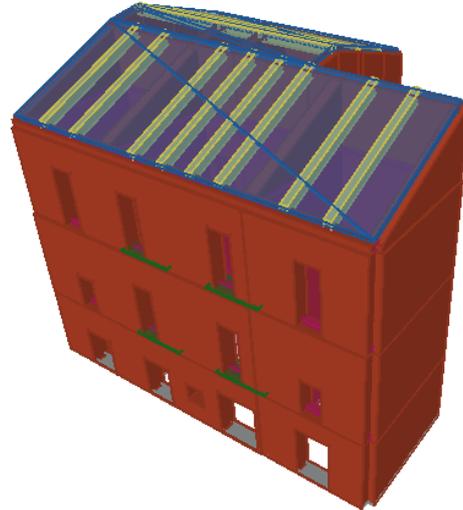
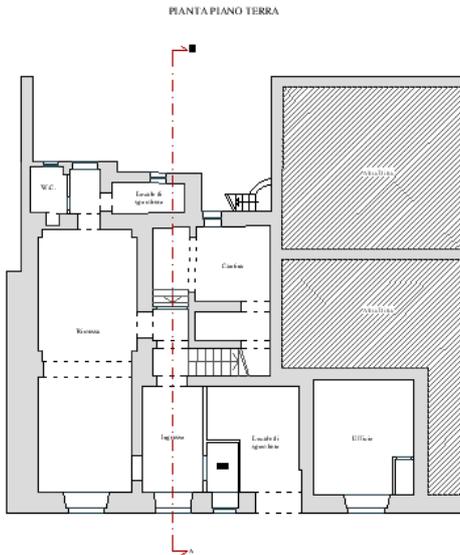
Interventi di Rinforzo

Intonaco armato con rete elettrosaldata

Cordolo in C.A.

Ripristino copertura

Modello Strutturale



Caratteristiche

Anno di Costruzione: <1919 (ristru. 1992)
Destinazione d'uso: Civile Abitazione
Stato di conservazione: Discreto
Fondazioni in: Pietrame disordinato
Struttura portante in: Pietrame disordinato
Orizzontamenti in: Volte in muratura
Copertura in: Legno
Rinforzi: Nessuno
Stato: Abitato
Esito agibilità: Temporaneamente inagibile

Allegati

Pianta piano terra, copertura
 Sezioni
 Prospetti
 Scheda AeDes
 Computo metrico estimativo
 Report fotografico

Interventi di Rinforzo

Intonaco armato con rete elettrosaldata
 Cordolo in C.A.
 Ripristino copertura

3.2 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Le analisi numeriche monodimensionali rappresentano la categoria di modelli più comunemente adottata per studiare un ipotetico comportamento assunto dal moto nel passare da un basamento sepolto ai depositi più superficiali, poiché si basano su una serie di ipotesi e semplificazioni che ne permettono una facile e veloce applicabilità.

Le semplificazioni adottate dai modelli Monodimensionali comprendono:

- Che il deposito attraversato dalla onde sia omogeneo o al più stratificato orizzontalmente, indefinitamente esteso e abbia un comportamento visco-elastico;
- Il bedrock su cui poggia il deposito sia orizzontale, indefinitamente esteso e deformabile;
- La sollecitazione sismica sia caratterizzata da sole onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (SH) e incidenti il *bedrock* con direzione di propagazione verticale.

Inoltre lo schema monodimensionale può esser usato principalmente per rappresentare depositi semplici e riconducibili a strati orizzontali infinitamente estesi poiché la semplificazione geometrica adottata non comprende i relativi effetti topografici ed effetti di bordo (analizzati e studiati mediante l'utilizzo di modelli bidimensionali 2D), ma è possibile studiare solamente gli effetti stratigrafici, considerando che le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi con direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso sono essenzialmente attribuibili a fenomeni di risonanza tra le onde sismiche e terreni, in relazione alla stratigrafia del sottosuolo, alla caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e al contenuto in frequenza predominante del moto sismico.

Mediante l'utilizzo del *software* STRATA (1D) è stato possibile effettuare delle analisi monodimensionali su un punto corrispondente alla verticale della sezione geologico-tecnica a disposizione.

3.2.1 Inserimento dati in STRATA

Il primo passaggio da fare all'interno del *software* STRATA è l'inserimento dei tipi di suolo (*Soil Types*):

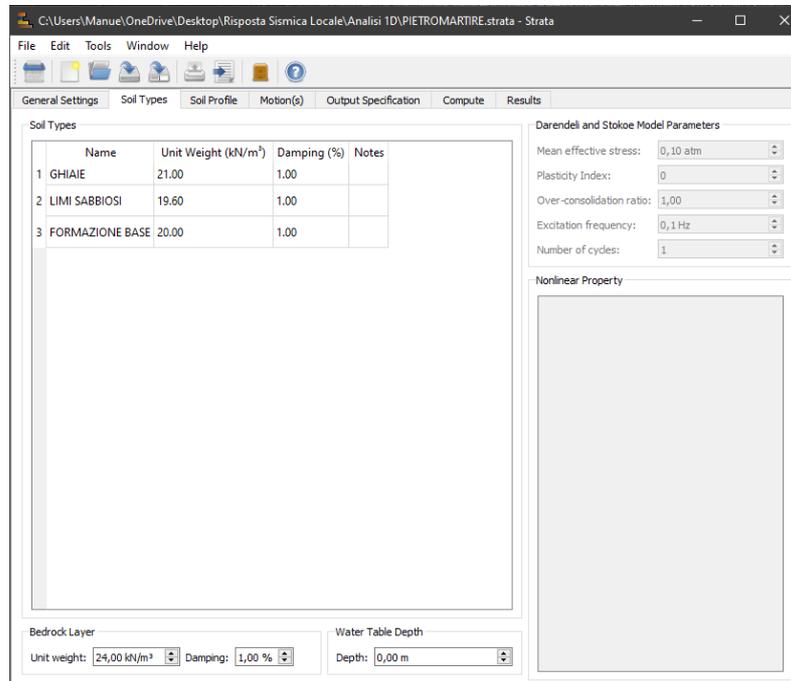


Figura 32 - Tipi di suolo

Il secondo passaggio è l'inserimento dei profili di suolo (*Soil Profile*), cioè la stratigrafia del sottosuolo:

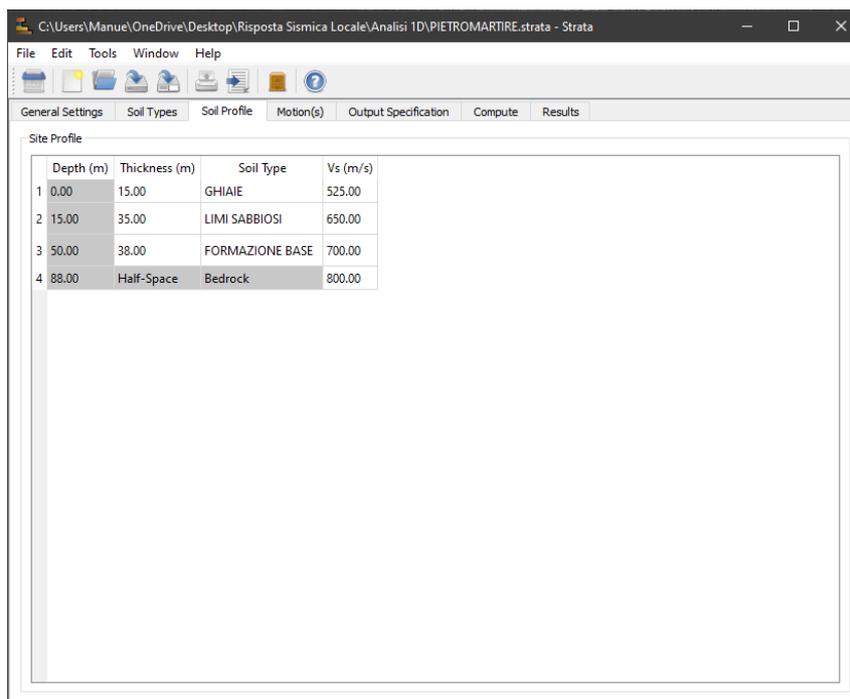


Figura 33 - Profilo del suolo

Il terzo passaggio è l'inserimento dell'accelerogramma del sisma di riferimento (*Motion*), in questo caso è stato scelto il sisma dell'Aquilano del 06/04/2009, registrato dalla stazione di Chieti, la più vicina al comune di Catignano.

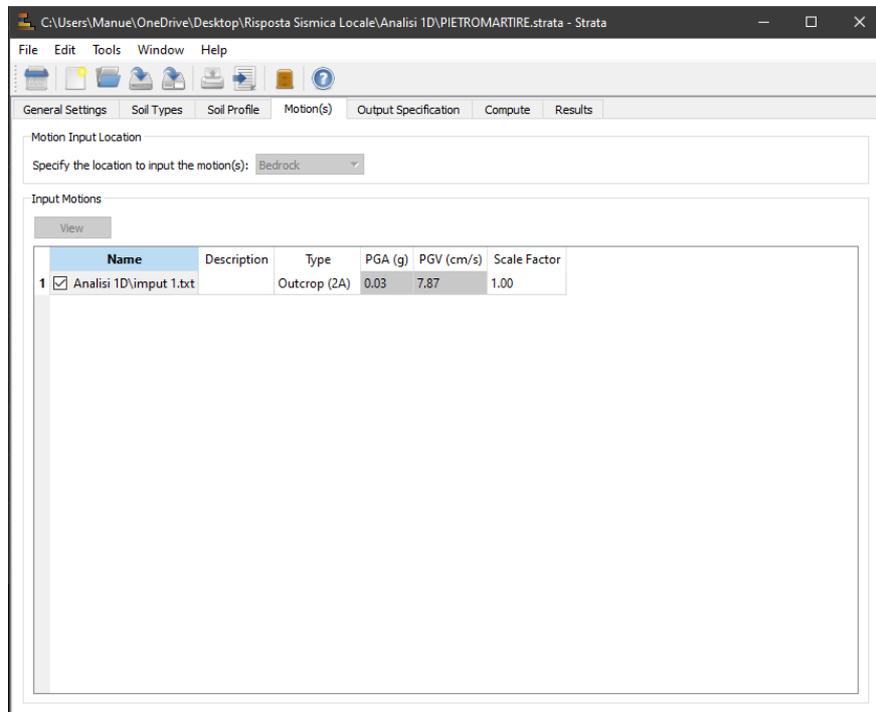


Figura 34 - Inserimento accelerogramma

Il quarto passaggio è la definizione dei risultati che vogliamo ottenere dall'analisi monodimensionale:

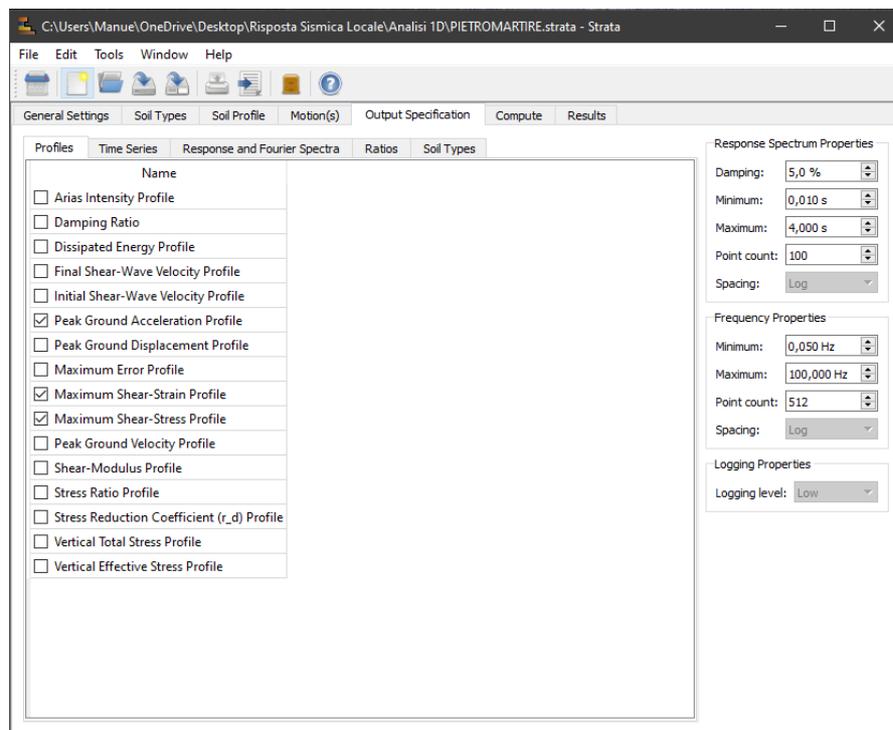
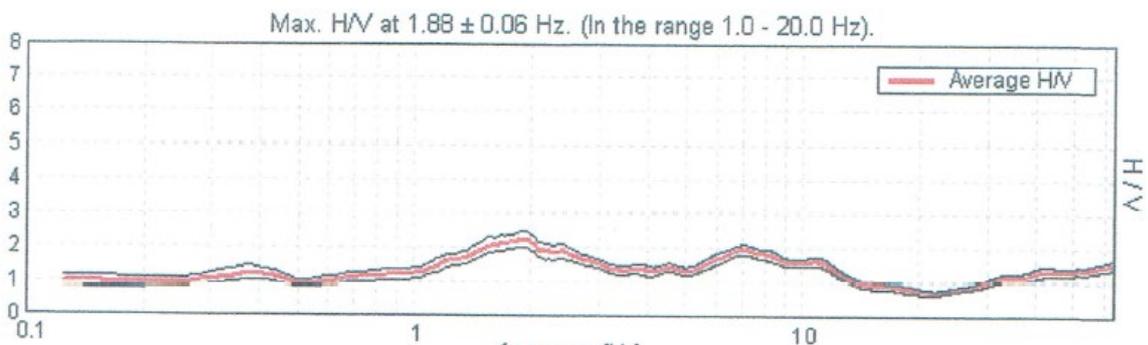


Figura 35 - Definizione Output

Una volta conclusa l'analisi dobbiamo confrontare la funzione di trasferimento con le frequenze di risonanza misurate dalla prova HVSR. Nello specifico da tale prova abbiamo una frequenza di risonanza pari a 2 Hz, come possiamo vedere nella figura:



L'obiettivo è avere una frequenza del primo picco della funzione di trasferimento pari alla frequenza indicata in figura, per fare ciò si procede con un metodo iterativo, facendo variare le incognite, cioè la profondità del *bedrock*. Dopo diversi tentativi si è ottenuto la funzione di trasferimento calibrata:

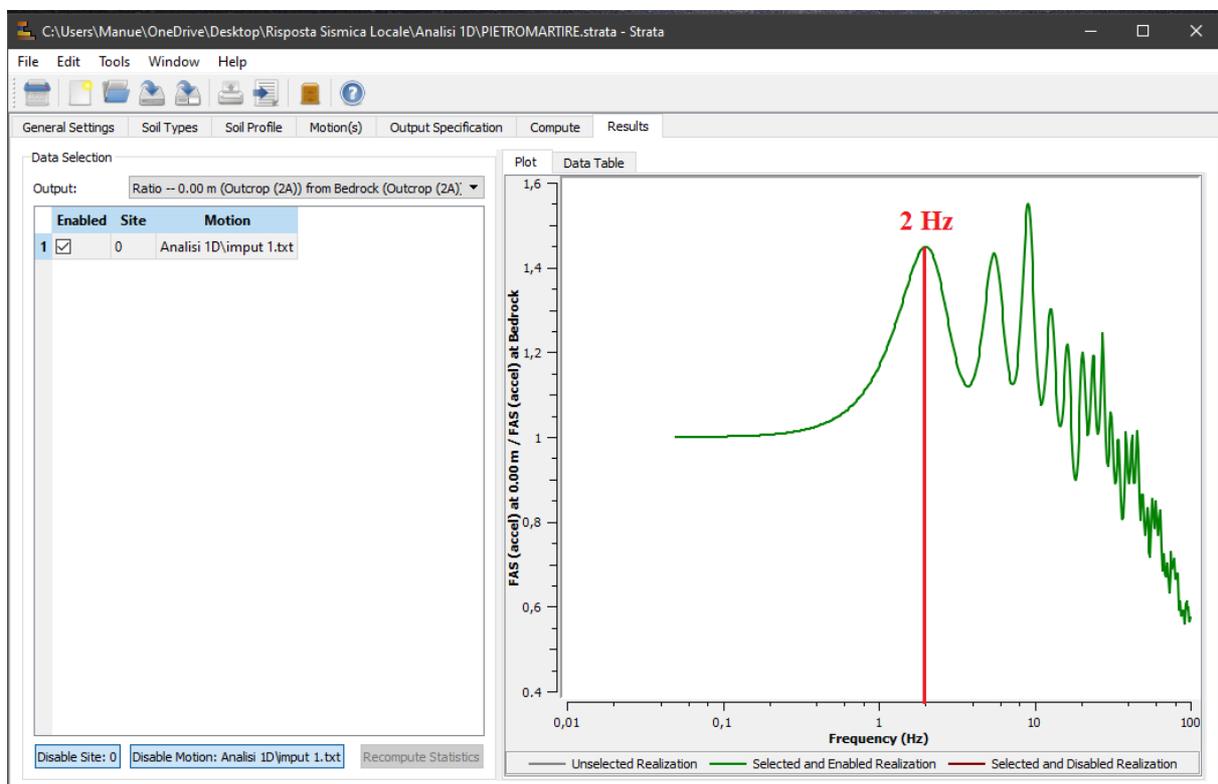


Figura 36 - Funzione di trasferimento

Una volta tarato il modello di sottosuolo, si va ad estrarre i dati relativi agli accelerogrammi su roccia e su suolo, *output e input (bedrock)*:

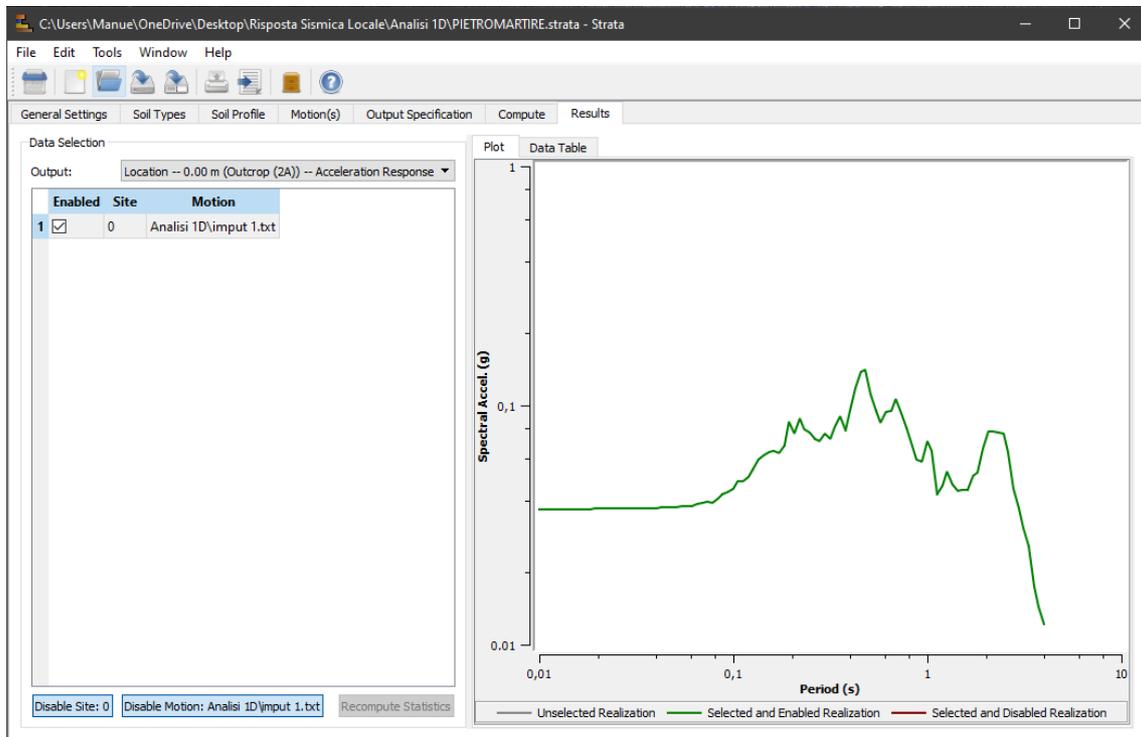


Figura 37 – Output

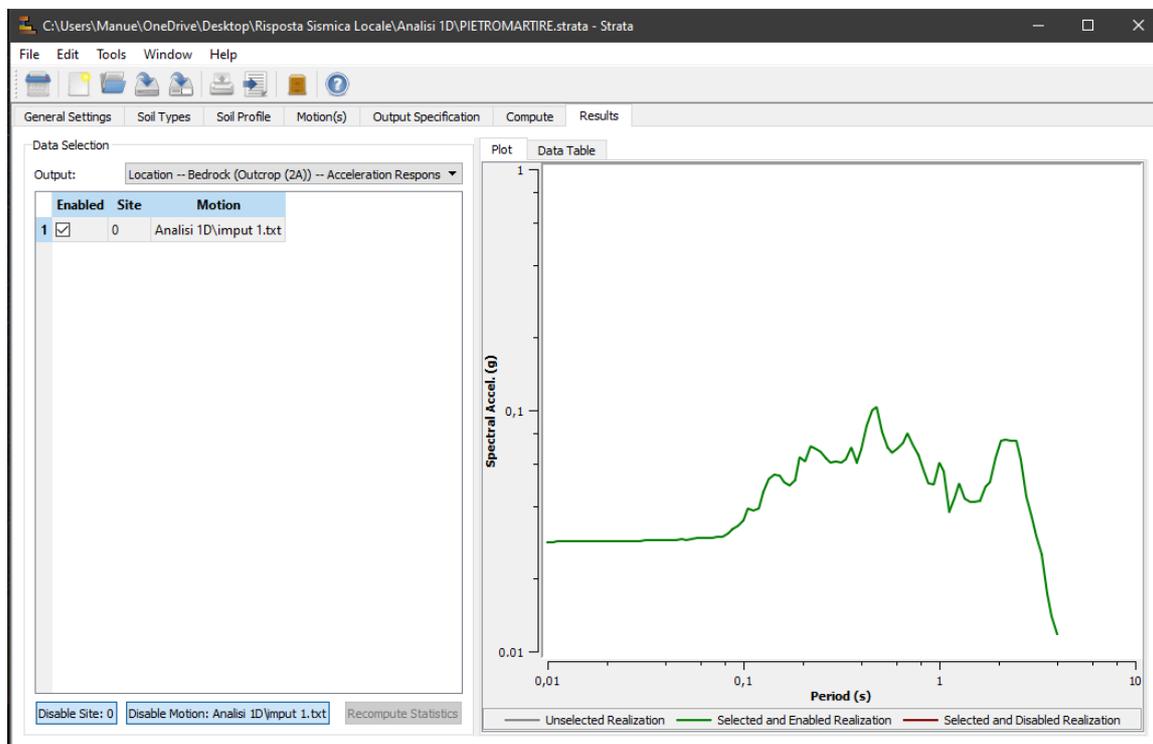


Figura 38 - Input (bedcock)

3.2.2 Calcolo Fattore di Amplificazione locale

A questo punto si può calcolare il Fattore di Amplificazione, come in formula (6), considerando il *range* di periodo (T) 0.1 – 0.5 s.

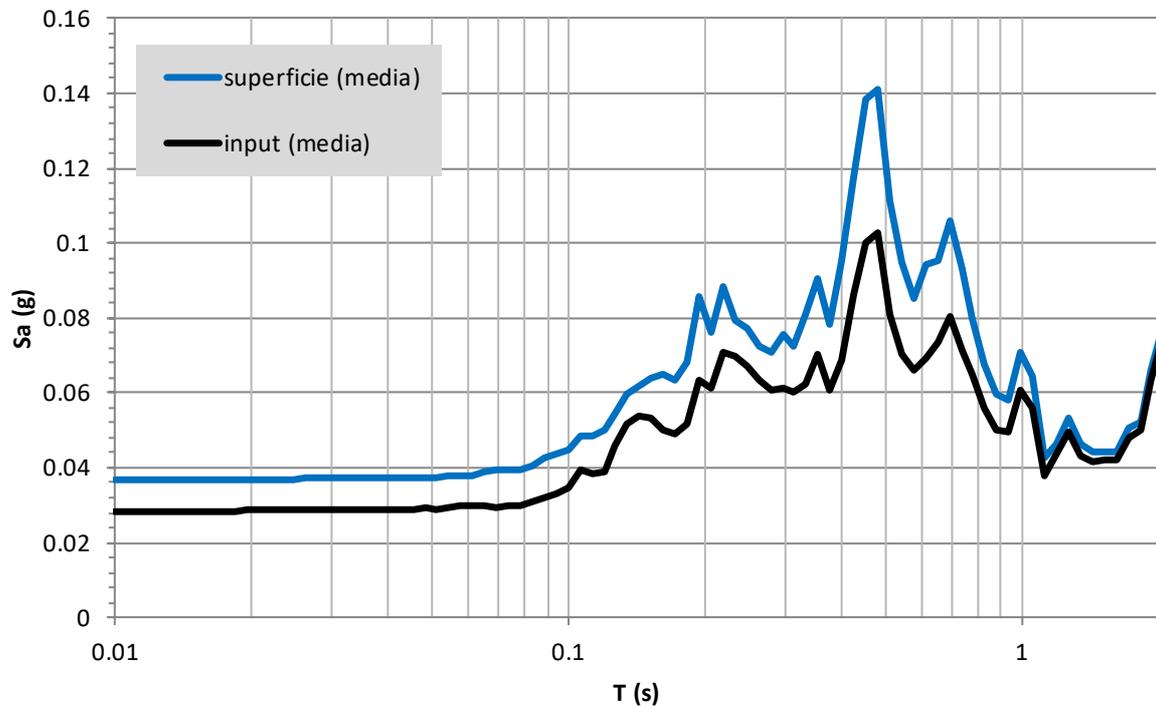


Figura 39 - Spettri di risposta beaderock - suolo

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.29	1.32	1.21

Il Fattore di Amplificazione per il centro storico di Catignano (PE) può essere assunto pari a 1,3.

3.3 VALIDAZIONE E TARATURA DELLA SCHEDA GNDT-II

3.3.1 Influenza del fattore di amplificazione sul grado medio di danno

Una volta calcolato l'indice di vulnerabilità per ciascun edificio si vanno a costruire le curve di danno, utilizzando l'equazione (13, 14). Poiché l'indice di vulnerabilità, stimato con la scheda, non tiene conto del tipo di terreno di fondazione e dell'eventuale amplificazione sismica locale, si utilizza il fattore di amplificazione Fa che entra nel calcolo del grado medio di danno come nell'equazione (15, 16).

Le *Figure 28, 29, 30* sottostanti ci mostra come il fattore di amplificazione influisce, in modo considerevole, sul valore del grado medio di danno:

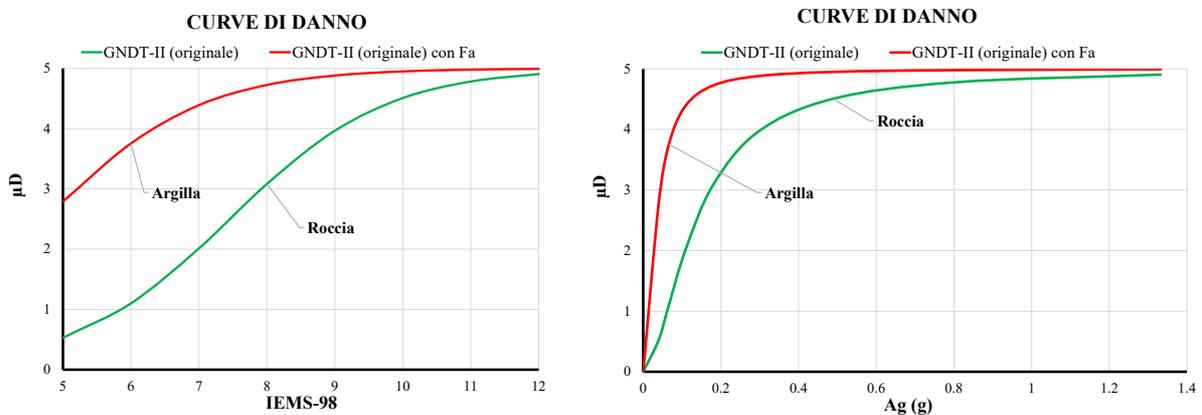


Figura 40 - Curve di Danno, Edificio 1

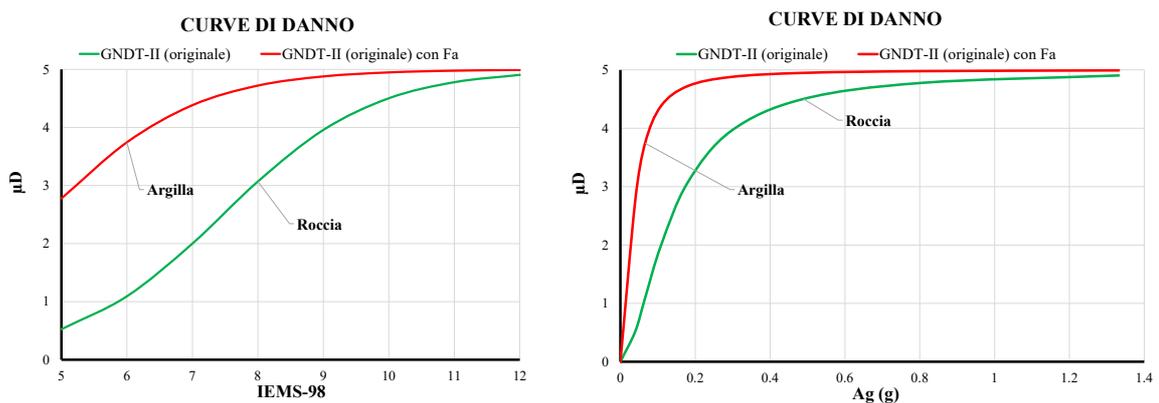


Figura 41 -Curve di Danno, Edificio 2

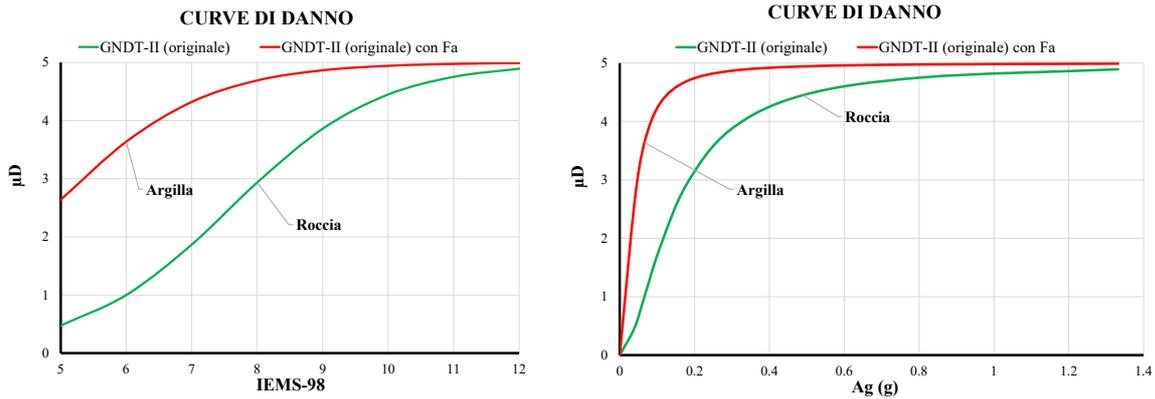


Figura 42 - Curve di Danno, Edificio 3

3.3.2 Confronto del danno GNDT-II / AeDes

Una volta stimato il grado medio di danno μ_D per gli edifici del caso studio si è proceduto ad un primo confronto tra esso ed il danno osservato, riportato nelle schede AeDes in allegato.

Le schede AeDes non ci forniscono un numero che rappresenta il grado medio di danno, ma danno delle classi di livello di danno, che sono tre:

- Gravissimo D4-D5
- Medio Grave D2-D3
- Leggero D1

Ogni classe è suddivisa in tre sottoclassi, rappresentate da tre *range* di percentuali (25, 50, 75), per ottenere un numero di riferimento si è sommato al danno minore, di ogni classe, il danno maggiore, di ogni classe, moltiplicato per la percentuale di riferimento, come mostrato nella *Tabella 2*:

Gravissimo D4 -D5			Medio Grave D2-D3			Leggero D1		
75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
4.75	4.5	4.25	3.5	3	2.5	1.75	1.5	1.25

Tabella 2 - Grado medio di danno AeDes

Un esempio di calcolo:

$$\text{Medio grave D2-D3 (25\%)} = 2 + (2 \times 0.25) = 2.5$$

Come si può notare nella *Figura 31* in tutti e tre i casi c'è uno scarto tra il danno stimato attraverso l'indice di vulnerabilità, con il fattore di amplificazione, e il danno osservato riportato nelle schede AeDes.

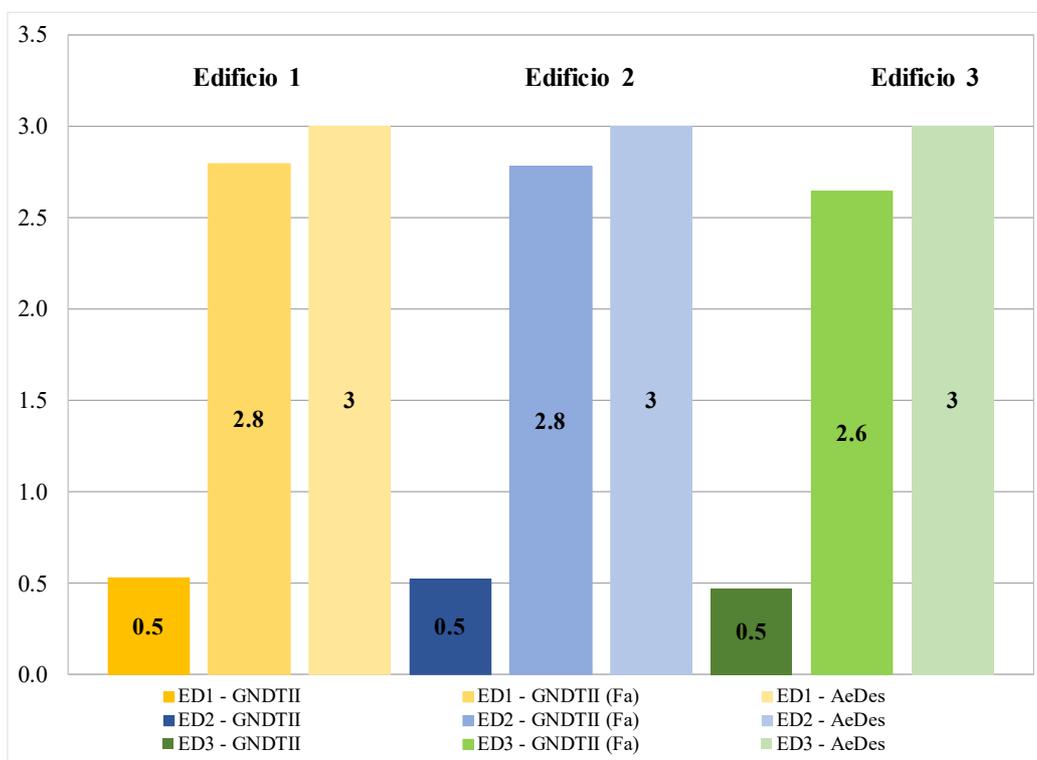


Figura 43 - Confronto del danno

3.3.3 Ridefinizione delle classi del Parametro 1

Lo scarto tra danno stimato, con la scheda, e quello osservato secondo una attenta analisi della scheda è generato dalla cattiva definizione delle classi del Parametro 1.

Il Parametro 1 definisce il tipo ed organizzazione del sistema resistente, in esso, come possiamo vedere in *Figura 32*, non vi è una netta definizione del comportamento scatolare, fondamentale per le strutture in muratura.

G.N.D.T. – SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		
1		11	22	Norme nuove costruzioni (Clas. A) ³³	1	Param
TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)				Norme riparazioni (Clas. A)	2	Tipolog
				Cordoli e catene tutti i livelli (Clas. B)	3	
				Buoni ammorsam. fra muri (Clas. C)	4	
				Senza cordoli cattivi ammors. (Clas. D)	5	

Figura 44 - Parametro 1

Inoltre, si è notato una non adeguatezza dei punteggi assegnati a tali classi, i quali non danno il giusto peso al comportamento scatolare delle strutture in muratura.

EDIFICI IN MURATURA					
Parametro	Punteggi				Peso
	A	B	C	D	
1 - Org. sist. resist.	0	5	20	45	1.0
2 - Qual. sist. res.	0	5	25	45	.25
3 - Resist. convenzionale.	0	5	25	45	1.5
4 - Pos. edif. e fond.	0	5	25	45	.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	var
6 - Config. planim.	0	5	25	45	.5
7 - Config. in elev.	0	5	25	45	var
8 - Dist. max. murat.	0	5	25	45	.25
9 - Copertura	0	15	25	45	var
10 - Elem. non strutt.	0	0	25	45	.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	1.0

Figura 45 - Punteggi Parametro 1

Quello che si propone è una ridefinizione delle classi, con l'aggiunta di una classe, come si può vedere in *Figura 34*:

PARAMETRI		Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	E	Nuove norme costruzioni	(Classe A)	1
			Comportamento scatolare garantito	(Classe B)	2
			Cordoli o catene in copertura	(Classe C)	3
			Buoni ammorsamenti fra muri	(Classe D)	4
			Senza cordoli cattivi ammorsamenti	(Classe E)	5

Figura 46 - Parametro 1 modificato

Le nuove classi definisco con precisione il comportamento strutturale che una struttura in muratura può avere, dando una specifica classe al comportamento scatolare che può essere raggiunto mediante l'applicazione di rinforzi strutturali. Quindi la scheda sarà, in via teorica, in grado di stimare l'indice di vulnerabilità di edifici in muratura rinforzati.

Tutte queste ipotesi dovranno essere validate sulla base del confronto tra i risultati ottenuti dalla scheda e i risultati ottenuti dalle analisi rigorose, come quella cinematica lineare a statica non lineare.

Tali analisi ci consentiranno di verificare la validità dell'ipotesi e di validare o tarare i punteggi assegnati alle classi.

3.3.4 Calibrazione numerica

La calibrazione numerica dei punteggi del parametro 1 sarà effettuata confrontando il danno ottenuto dalla scheda ed il danno ottenuto dall'analisi rigorosa.

Da ogni classe, del parametro 1, deriva una tipologia ed organizzazione del sistema resistente, tale tipologia verrà assegnata all'edificio oggetto di studio ed verranno eseguite le analisi rigorose di riferimento e compilata la scheda GNDT-II modificata in modo da confrontarne i risultati.

3.3.4.1 Parametro 1 – Classe E

La classe E rappresenta quelle strutture formate da murature prive di ammorsamenti e di cordolo e/o catene, in altre parole strutture dove si attivano meccanismi di collasso locale. Tale collasso è rappresentato dal Ribaltamento semplice, esso è stato calcolato attraverso un'analisi cinematica lineare con il software 3Muri:

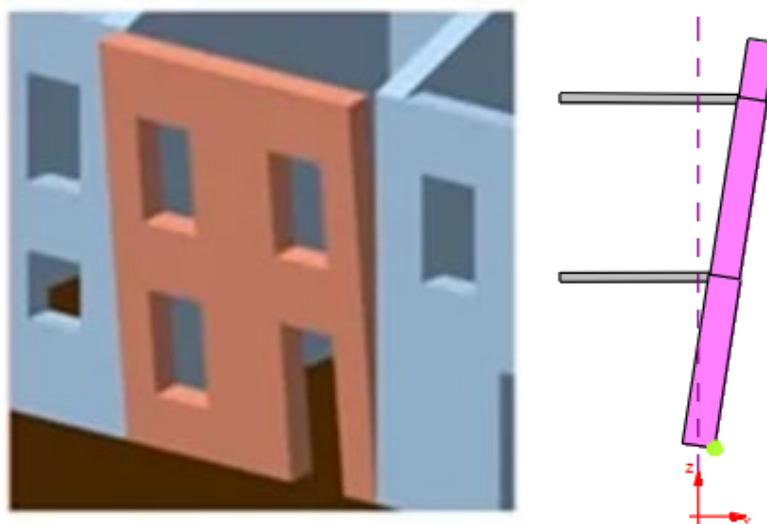
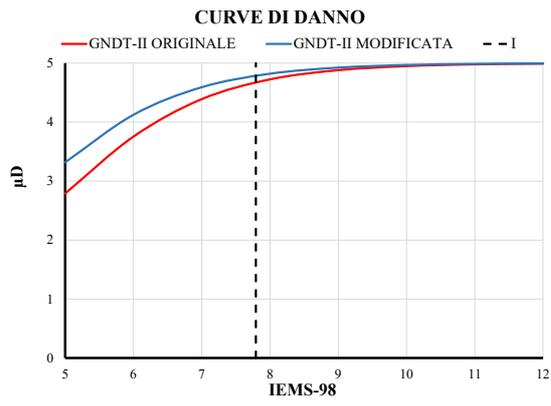
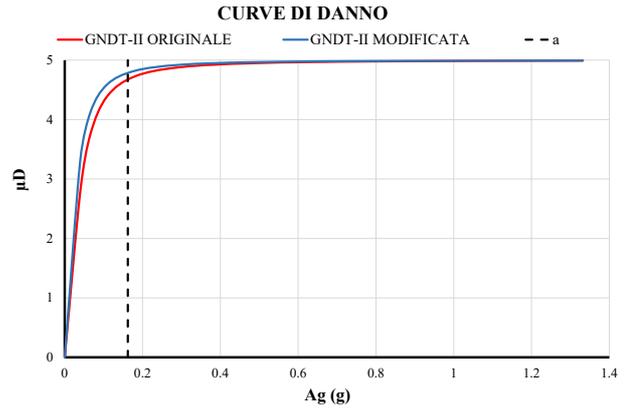


Figura 47 - Ribaltamento semplice

Il confronto viene effettuato prendendo dal valore di accelerazione più bassa che attiva il cinemismo di ribaltamento semplice, esso viene inserito nelle curve di danno. Il risultato che ci si aspetta è che al valore di accelerazione o intensità macrosismica inserito corrisponda un danno maggiore o uguale al D4, cioè un μ_D avente valore superiore a 4.

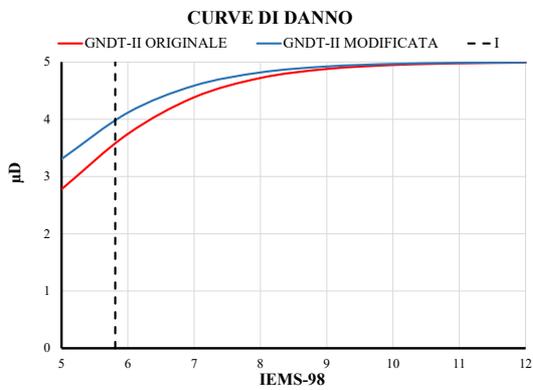


CINEMATISMO	
I	μ
7.8	0
7.8	5

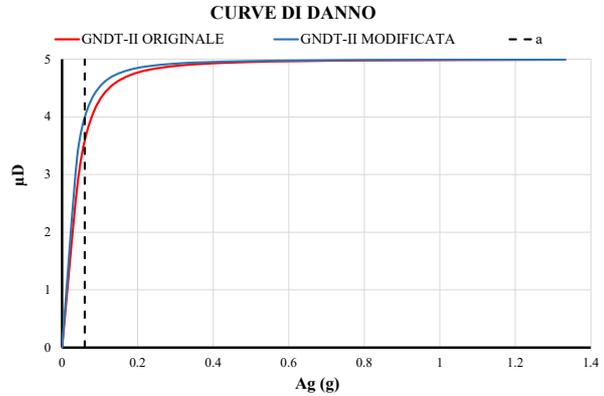


CINEMATISMO	
a	μ
0.16	0
0.16	5

Figura 48 - Curve di danno e Ribaltamento semplice, Edificio 1

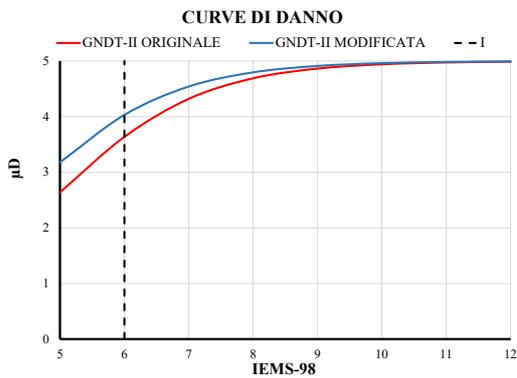


CINEMATISMO	
I	μ
5.8	0
5.8	5

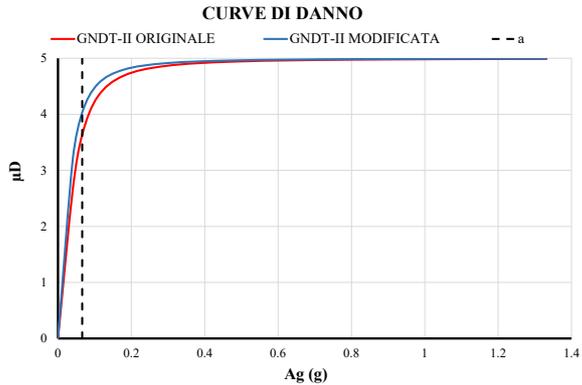


CINEMATISMO	
a	μ
0.06	0
0.06	5

Figura 49 - Curve di danno e Ribaltamento semplice, Edificio 2



CINEMATISMO	
I	μ
6.0	0
6.0	5



CINEMATISMO	
a	μ
0.07	0
0.07	5

Figura 50 - Curve di danno e Ribaltamento semplice, Edificio 3

In tutti e tre i casi si è giunti a verifica della condizione sopra descritta per un punteggio della classe E pari a 100, come riportato in *Tabella 3*.

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	45	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

Tabella 3 - Punteggio classe E parametro 1

3.3.4.2 Parametro 1 – Classe D

La classe D rappresenta quelle strutture formate da murature ammassate tra loro, in altre parole strutture dove si attivano meccanismi di collasso locale. Tale collasso è rappresentato dal ribaltamento composto, esso è stato calcolato attraverso un'analisi cinematica lineare con il software 3Muri.

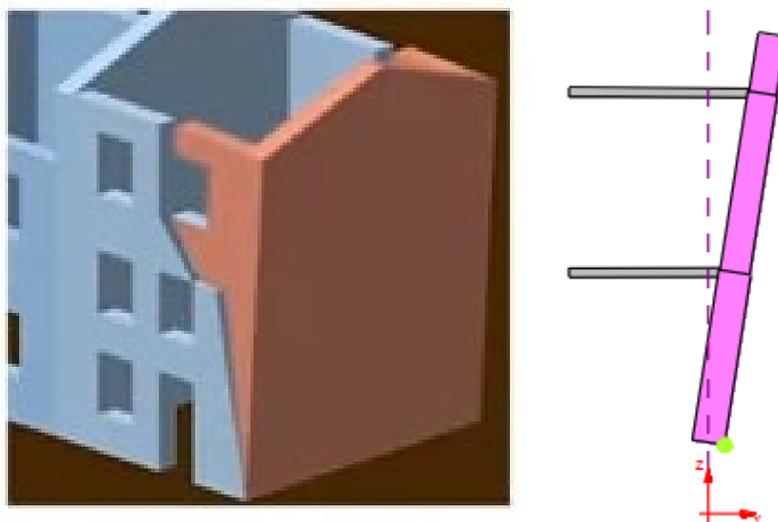


Figura 51 - Ribaltamento composto

Il confronto viene effettuato prendendo dal valore di accelerazione più bassa che attiva il cinematismo di ribaltamento composto, esso viene inserito nelle curve di danno. Il risultato

che ci si aspetta e che al valore di accelerazione o intensità macrosismica inserito corrisponda un danno maggiore o uguale al D4, cioè un μ_D avente valore superiore a 4.

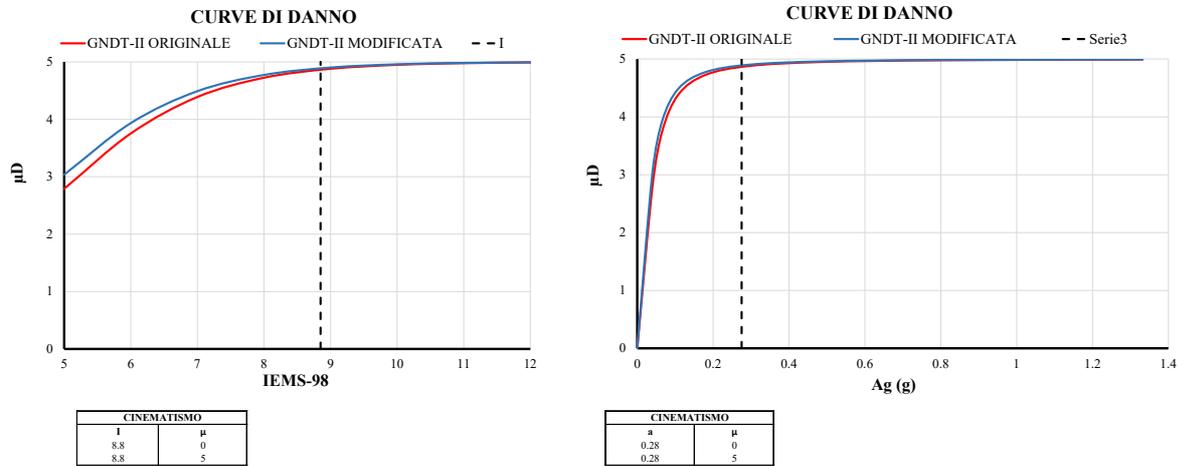


Figura 52 - Curve di danno e Ribaltamento composto, Edificio 1

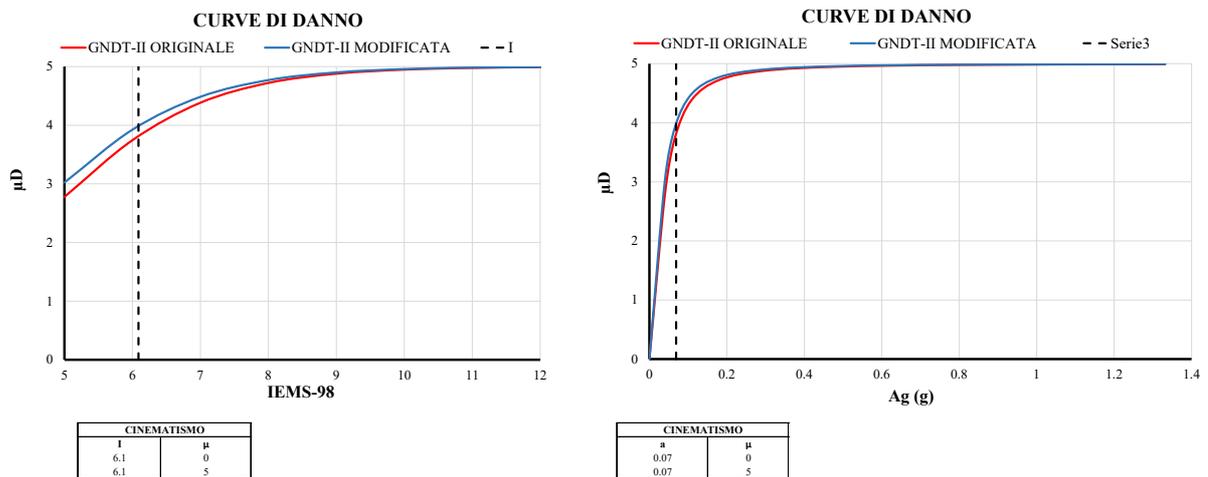


Figura 53 - Curve di danno e Ribaltamento composto, Edificio 2

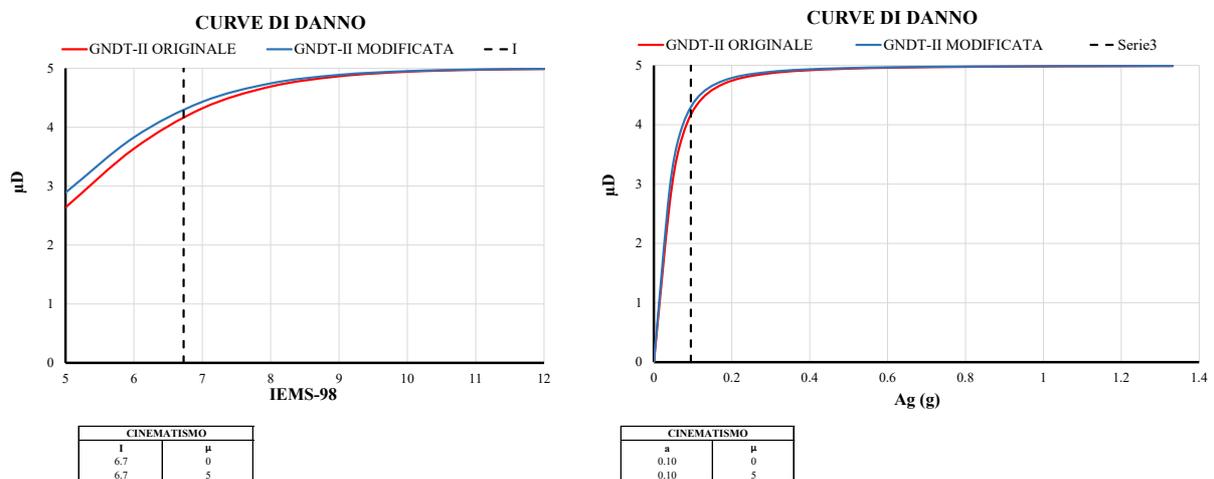


Figura 54 - Curve di danno e Ribaltamento composto, Edificio 3

In tutti e tre i casi si è giunti a verifica della condizione sopra descritta per un punteggio della classe D pari a 70, come riportato in *Tabella 4*, il punteggio originario era pari a 45.

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

Tabella 4 - Punteggi classe D parametro 1

3.3.4.3 Parametro 1 – Classe C

La classe C rappresenta quelle strutture formate da murature provviste di cordoli o di catene, in altre parole strutture dove si attivano meccanismi di collasso locale. Tale collasso è rappresentato dalla flessione verticale delle pareti, esso è stato calcolato attraverso un'analisi cinematica lineare con il software 3Muri.

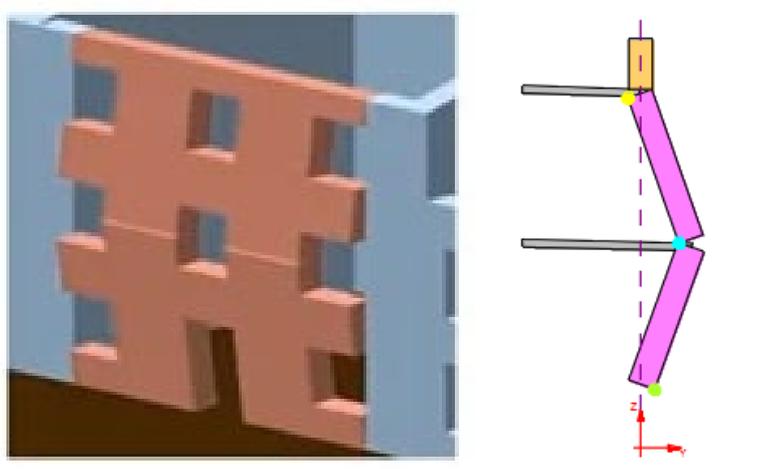
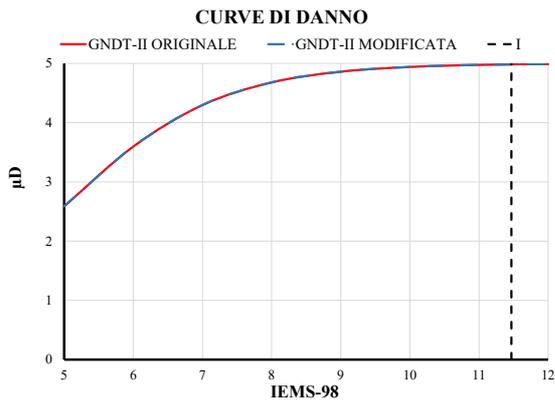
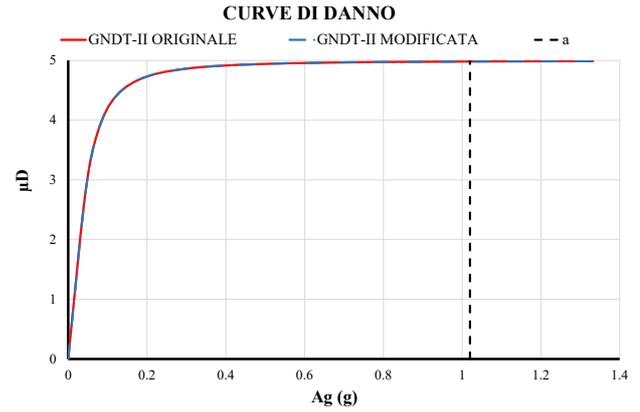


Figura 55 – Flessione verticale parete

Il confronto viene effettuato prendendo dal valore di accelerazione più bassa che attiva il cinematiso di flessione verticale, esso viene inserito nelle curve di danno. Il risultato che ci si aspetta è che al valore di accelerazione o intensità macrosismica inserito corrisponda un danno maggiore o uguale al D4, cioè un μ_D avente valore superiore a 4.

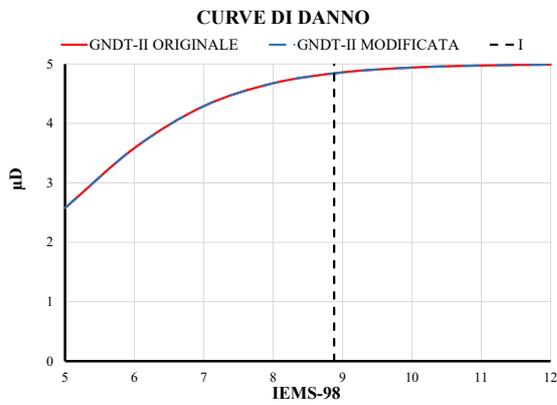


CINEMATISMO	
I	μ
11.5	0
11.5	5

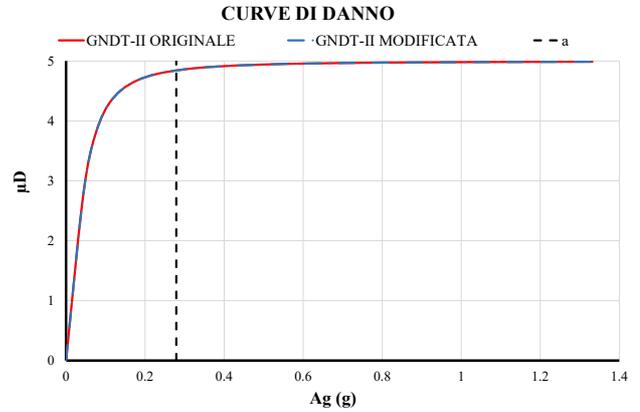


CINEMATISMO	
a	μ
1.02	0
1.02	5

Figura 56 - Curve di danno e Flessione verticale, Edificio 1

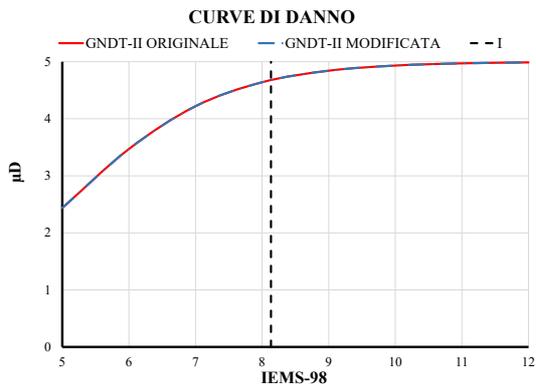


CINEMATISMO	
I	μ
8.9	0
8.9	5

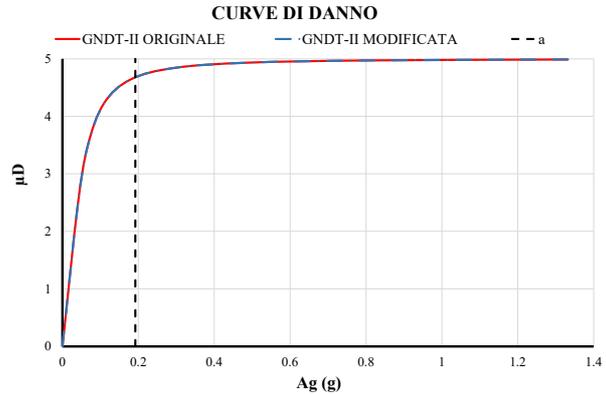


CINEMATISMO	
a	μ
0.28	0
0.28	5

Figura 57 - Curve di danno e Flessione verticale, Edificio 1



CINEMATISMO	
I	μ
8.1	0
8.1	5



CINEMATISMO	
a	μ
0.19	0
0.19	5

Figura 58 - Curve di danno e Flessione verticale, Edificio 3

In tutti e tre i casi si è giunti a verifica della condizione sopra descritta direttamente per un punteggio della classe D pari a quello originale di 25, come riportato in *Tabella 5*.

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

Tabella 5 - Punteggi classe C parametro 1

3.3.4.4 Parametro 1 – Classe B

La classe B rappresenta tutte quelle strutture dove si può dare per garantito il comportamento scatolare di esse. Il comportamento scatolare di un edificio in muratura si raggiunge attraverso la combinazione di diversi interventi di rinforzo. In genere si attua un intervento al livello degli orizzontamenti rendendoli rigidi, se necessario, come nel caso studio, bisognerà anche incrementare le caratteristiche meccaniche della muratura.

Anche la scheda dovrà tener conto della combinazione degli interventi, assegnando il comportamento scatolare garantito in automatico dovrà essere aggiornato il parametro che descrive gli orizzontamenti, il 5, e se sono stati fatti interventi di incremento delle caratteristiche meccaniche della muratura dovrà essere aggiornato anche il parametro che descrive la resistenza convenzionale, il 3.

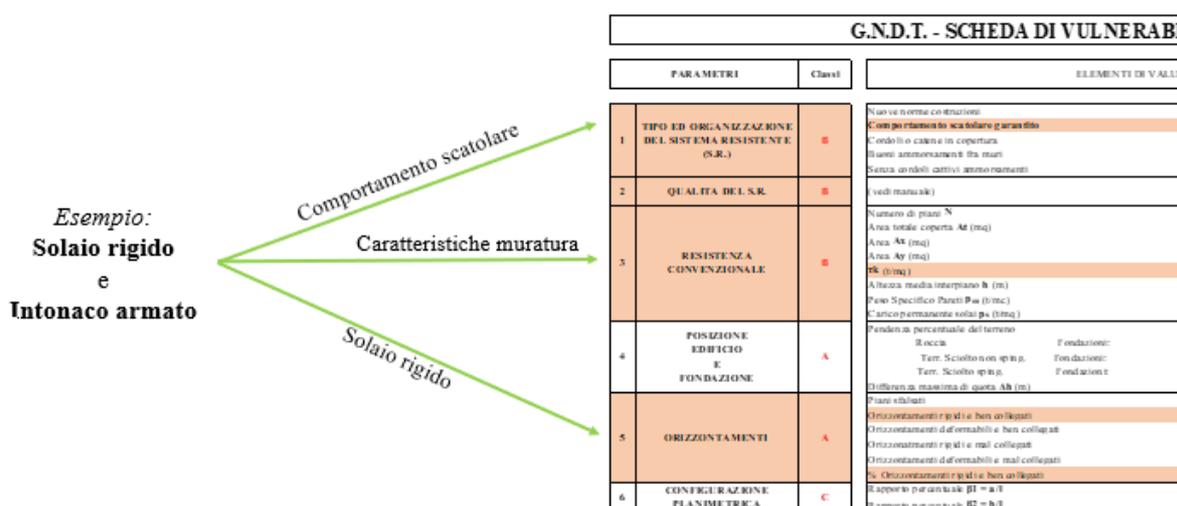


Figura 59 - Esempio compilazione scheda

Il comportamento di tali edifici è stato studiato con un'analisi statica non lineare, tramite il software 3muri, ricavando la così detta curva di push-over. Dalla curva di push-over, utilizzando i limiti di danno e lo spostamento di domanda sismica, possiamo stimare il grado medio di danno.

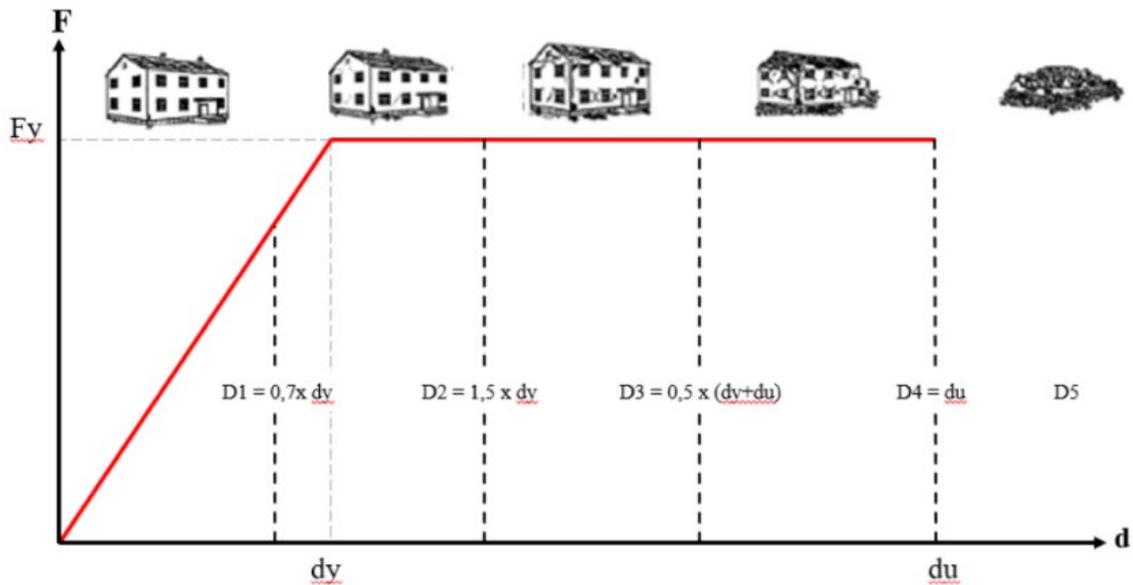


Figura 60 - Limiti di danno

Dopo aver studiato il contributo di ogni singolo rinforzo, come riportato negli allegati, sono state studiate le combinazioni di essi. In particolare, ci siamo soffermati su due combinazioni molto diffuse nel campo della pratica: il solaio rigido e l'intano armato, il solaio rigido e le fasce di FRP. Queste due combinazioni sono state utilizzate per fare il confronto tra il grado medio di danno stimato dalla scheda e quello determinato dall'analisi pushover.

Solaio rigido, iniezioni di malta e intonaco armato									
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D	du / dmax
0.34	2.38	847	0.238	0.374	1.36	2.38	0.27	D2	8.8

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

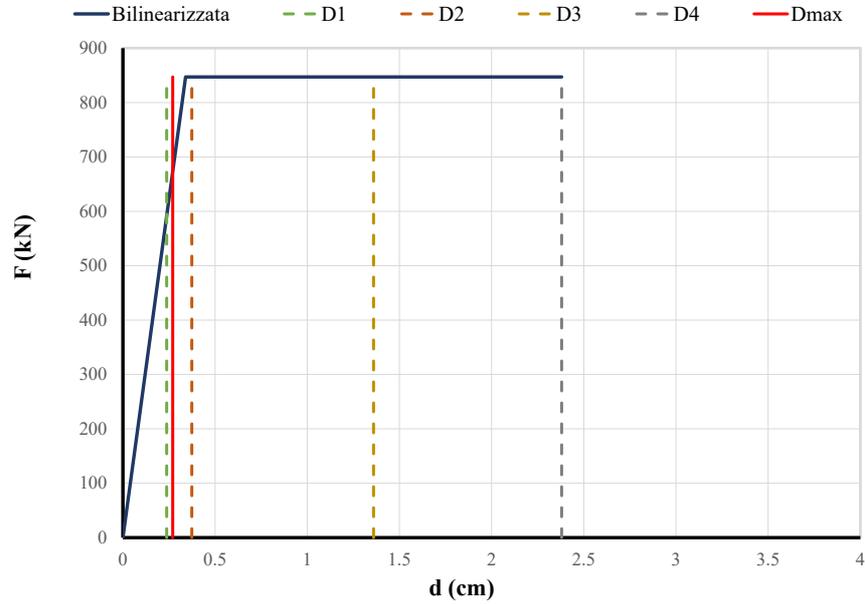


Figura 61 - Intonaco Armato; Edificio 1

Solaio rigido, iniezioni di malta e FRP									
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D	du / dmax
0.06	3.76	80	0.042	0.09	1.91	3.76	1	D3	3.8

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

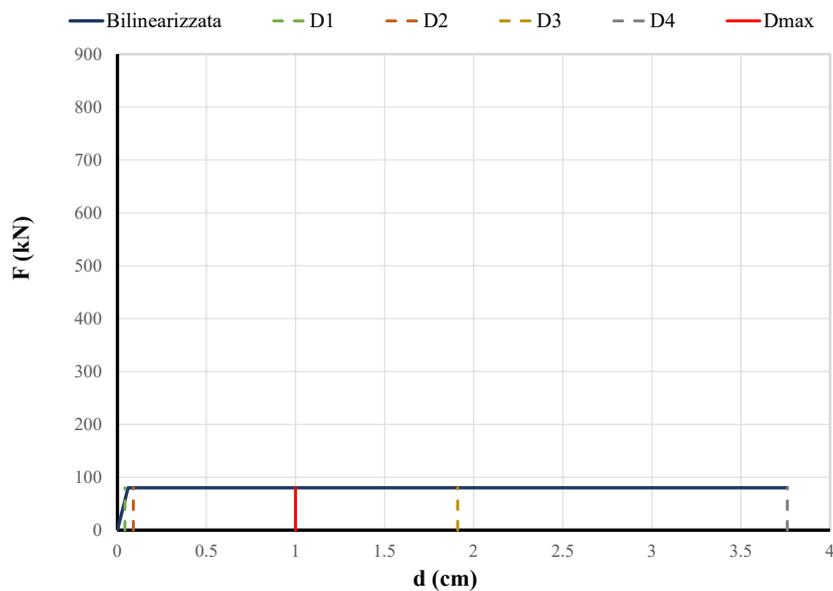


Figura 62 - FRP, Edificio 1

Solaio rigido									
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D	du / dmax
0.17	1.66	195	0.119	0.255	0.915	1.66	1.12	D4	1.5

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

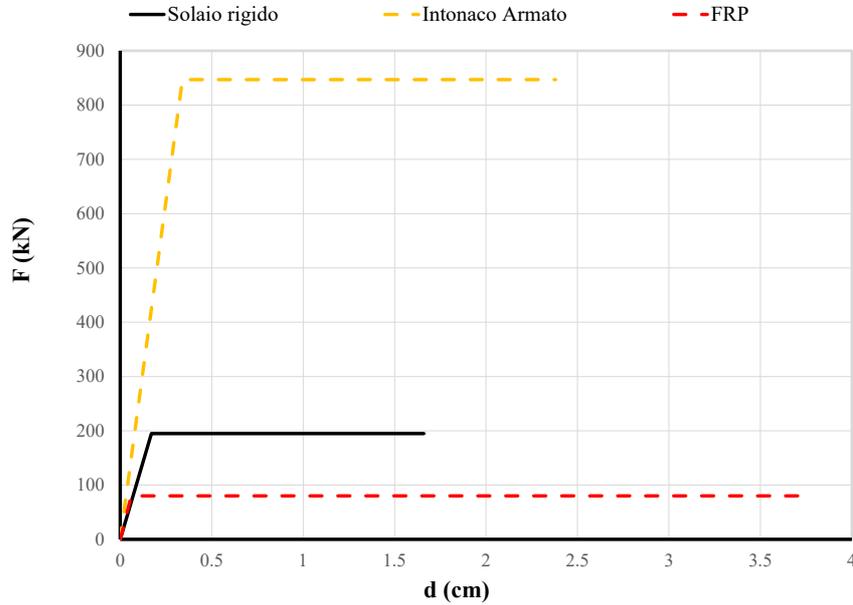


Figura 63 - Contributo rinforzi, Edificio 1

CONFRONTO DEL GRADO MEDIO DI DANNO

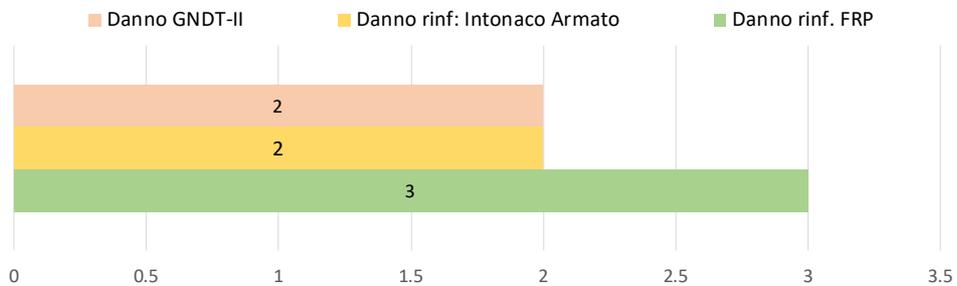


Figura 64 - Confronto del danno, Edificio 1

CONFRONTO DELL'INDICE DI SICUREZZA

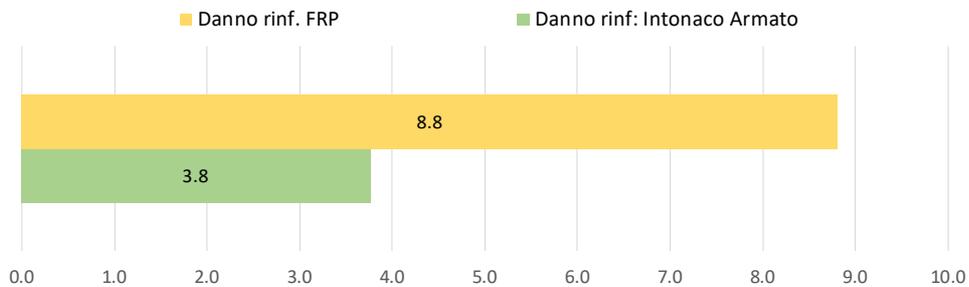


Figura 65 - Confronto dell'indice di sicurezza, Edificio 1

Solaio rigido, iniezioni di malta e intonaco armato									
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μD	du / dmax
1.8	2.76	21474	1.26	1.98	2.28	2.76	1.78	D2	1.6

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

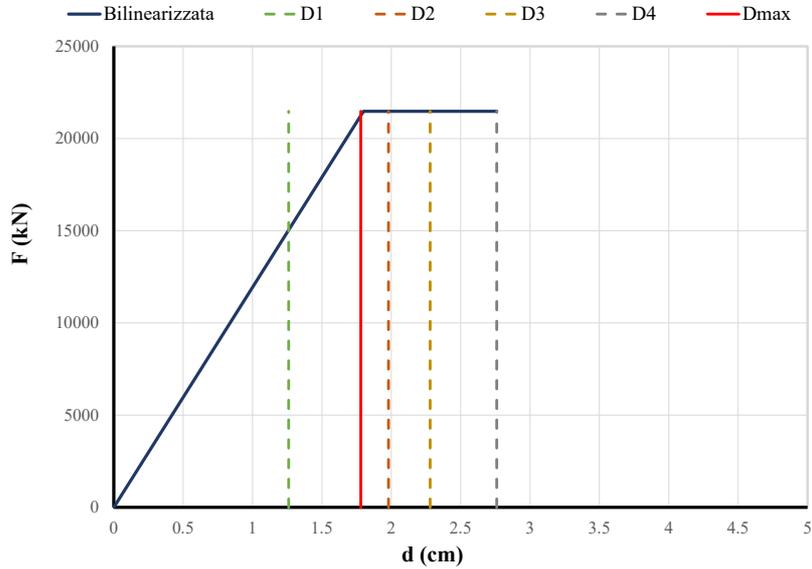


Figura 66 - Intonaco armato, Edificio 2

Solaio rigido, iniezioni di malta e FRP									
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μD	du / dmax
0.24	4.41	2674	0.168	0.36	2.325	4.41	1.65	D3	2.7

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

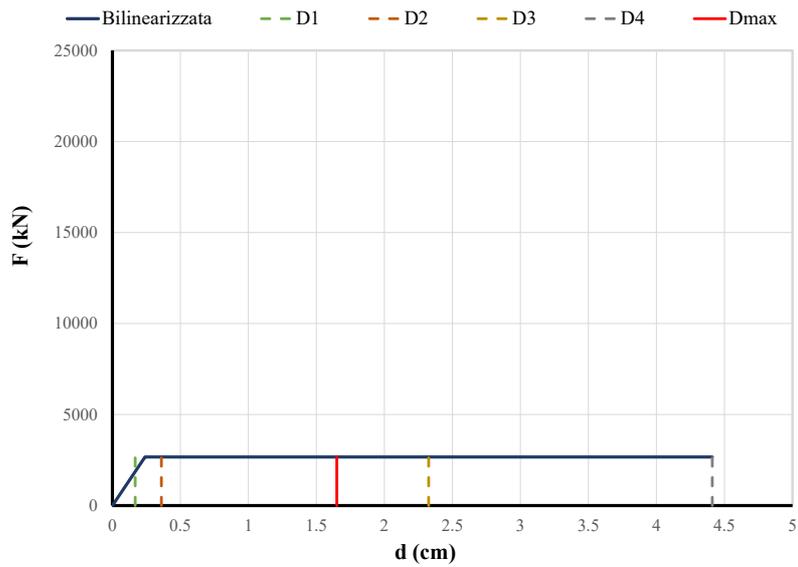


Figura 67 - FRP, Edificio 2

Solaio rigido									
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μD	du / dmax
0.44	1.81	2633	0.308	0.66	1.125	1.81	out	D5	#VALORE!

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

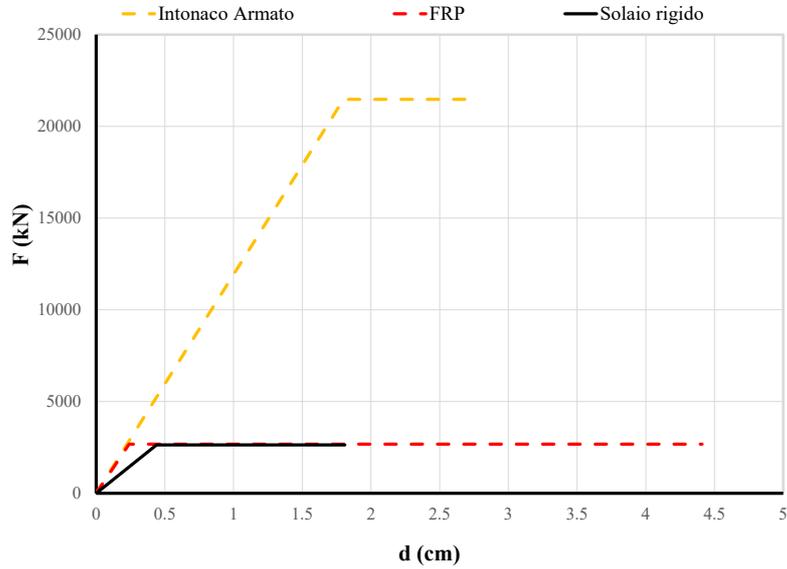


Figura 68 - Contributo rinforzi, Edificio 2

CONFRONTO DEL GRADO MEDIO DI DANNO

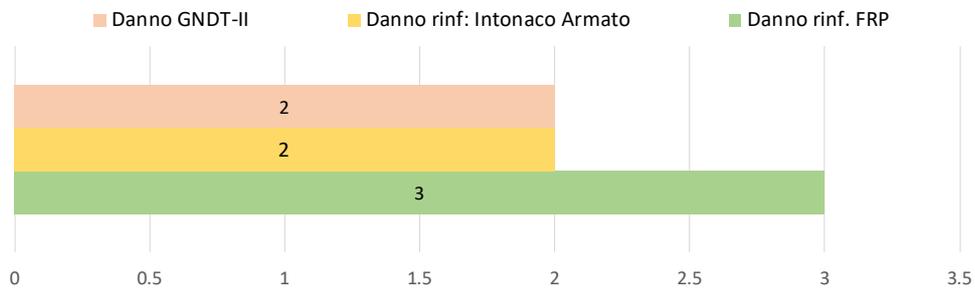


Figura 69 - Confronto del danno, Edificio 2

CONFRONTO DELL'INDICE DI SICUREZZA

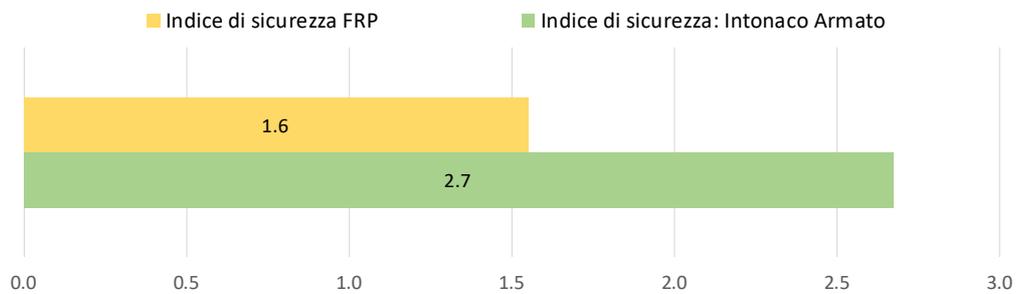


Figura 70 - Confronto dell'indice di sicurezza, Edificio 2

Solaio rigido, iniezioni di malta e intonaco armato										
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza	
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D	du / dmax	
2.83	4.22	12826	1.981	3.113	3.525	4.22	2.92	D2	1.4	

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

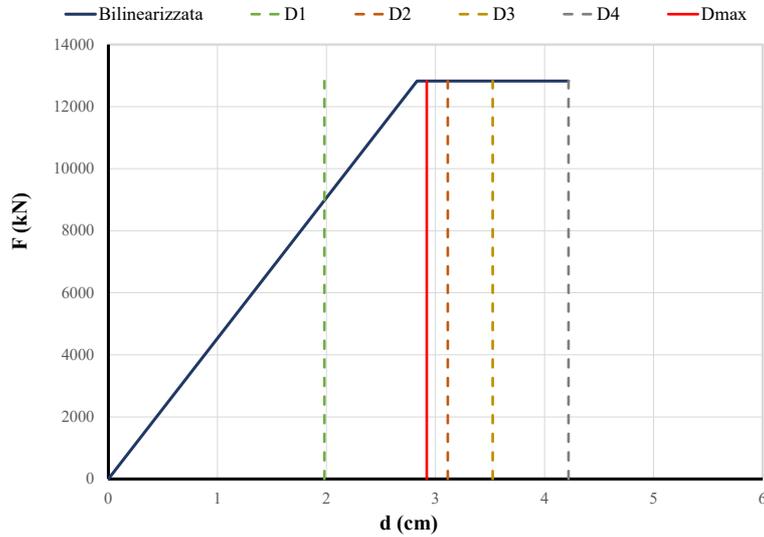


Figura 71 - Intonaco armato, Edificio 3

Solaio rigido, iniezioni di malta e FRP										
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza	
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D	du / dmax	
0.5	5.24	2176	0.35	0.75	2.87	5.24	3.23	D4	1.6	

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

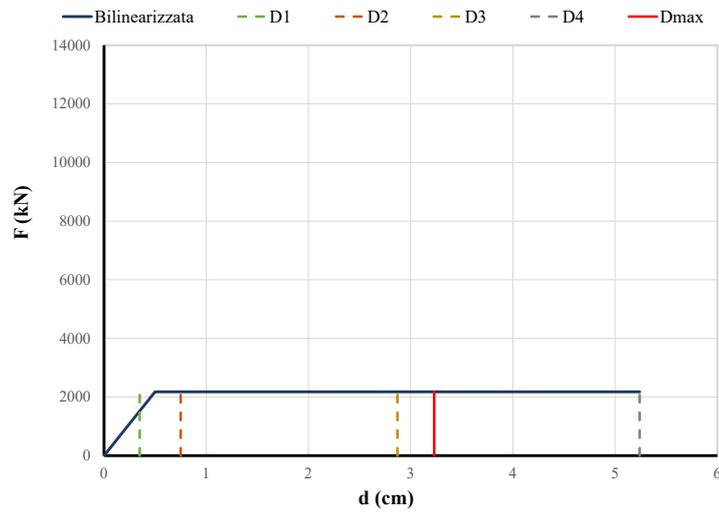


Figura 72 - FRP, Edificio 3

Solaio rigido									
Bilinearizzata			Limiti di Danno						Indice di Sicurezza
dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μD	du / dmax
0.73	2.3	1817	0.511	1.095	1.515	2.3	out	D5	#VALORE!

CURVA DI PUSH-OVER BILINEARIZZATA

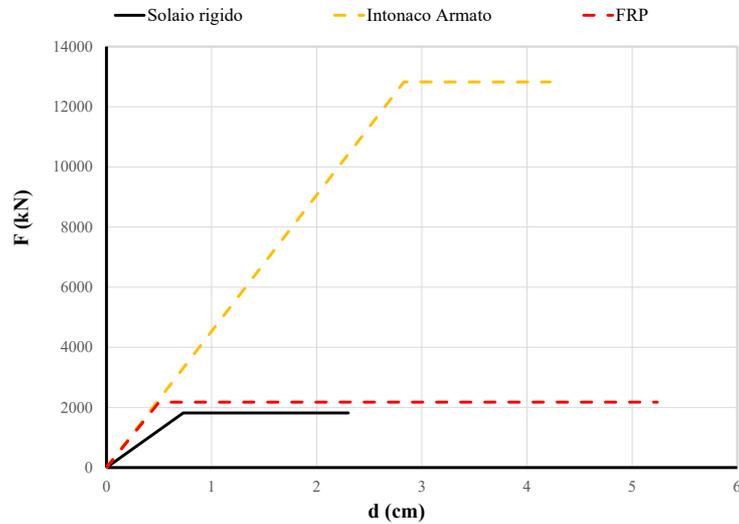


Figura 73 - Contributo rinforzi, Edificio 3

CONFRONTO DEL GRADO MEDIO DI DANNO

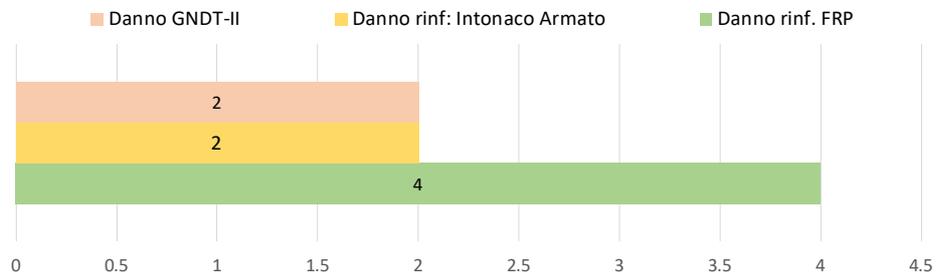


Figura 74 - Confronto del danno, Edificio 3

CONFRONTO DELL'INDICE DI SICUREZZA

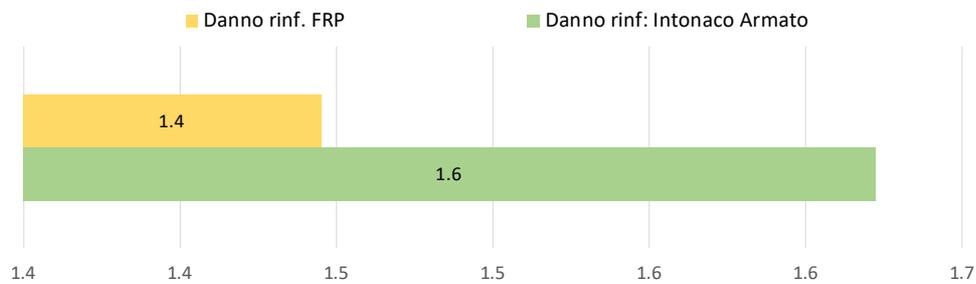


Figura 75 - Confronto dell'indice di sicurezza, Edificio 3

Riepilogando:

Edifici	GNDT-II	Intonaco Armato		FRP	
	μ_D	μ_D	Indice di sicurezza	μ_D	Indice di sicurezza
1	2	2	8.8	3	3.8
2	2	2	1.6	3	2.7
3	2	2	1.4	4	1.6

Tabella 6 - Riepilogo risultati analisi di Pushover

Dal riepilogo emerge che la scheda riesce a recepire i rinforzi costituiti dall'intonaco armato, il danno è pressochè identico. Per quanto riguarda i rinforzi in FRP, la scheda non riesce a recepirli, non si riesce in alcun modo ad avere un danno paragonabile a quello della scheda.

È emerso, guardando attentamente gli indici di sicurezza, che gli edifici rinforzati con FRP pure avendo un coefficiente di sicurezza maggiore manifestano un grado medio di danno maggiore, non paragonabile con quello stimato dalla scheda.

3.4 CONCLUSIONI

L'elaborato di tesi ha lo scopo di gettare le basi per un metodo di validazione della scheda di vulnerabilità di 2° livello GNDT. Per una validazione più completa dovranno essere studiati, all'interno del caso studio, un numero considerevole di edifici in modo da avere un campione più rappresentativo del patrimonio edilizio italiano.

Detto ciò si può affermare che la scheda è uno strumento valido ma ha bisogno di un aggiornamento completo di tutti i parametri in modo tale da poter estendere il suo utilizzo anche agli edifici rinforzati con nuove tecniche.

Per quanto riguarda il suo stato attuale, mettendo in atto le piccole correzioni proposte, la scheda è in grado di restituire un indice di vulnerabilità veritiero di strutture in muratura rinforzate e non. In particolare, la scheda riesce a recepire quelle strutture rinforzate con interventi di incremento della resistenza, mentre non riesce a recepire quelle strutture rinforzate con interventi che incrementano la duttilità della struttura.

Per ottimizzare la compilazione della scheda si propone una versione interattiva, dove la compilazione viene guidata e viene effettuato un controllo istantaneo dei possibili errori di compilazione. Inoltre, è possibile integrare la scheda all'interno del web gis per una migliore gestione dei dati.

Capitolo 4

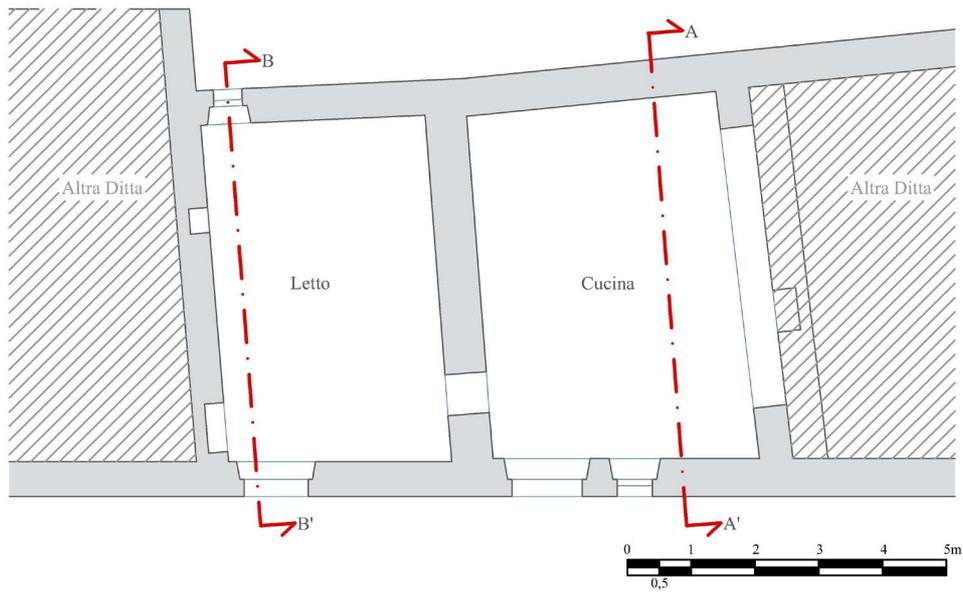
ALLEGATI

4.1 EDIFICIO 1

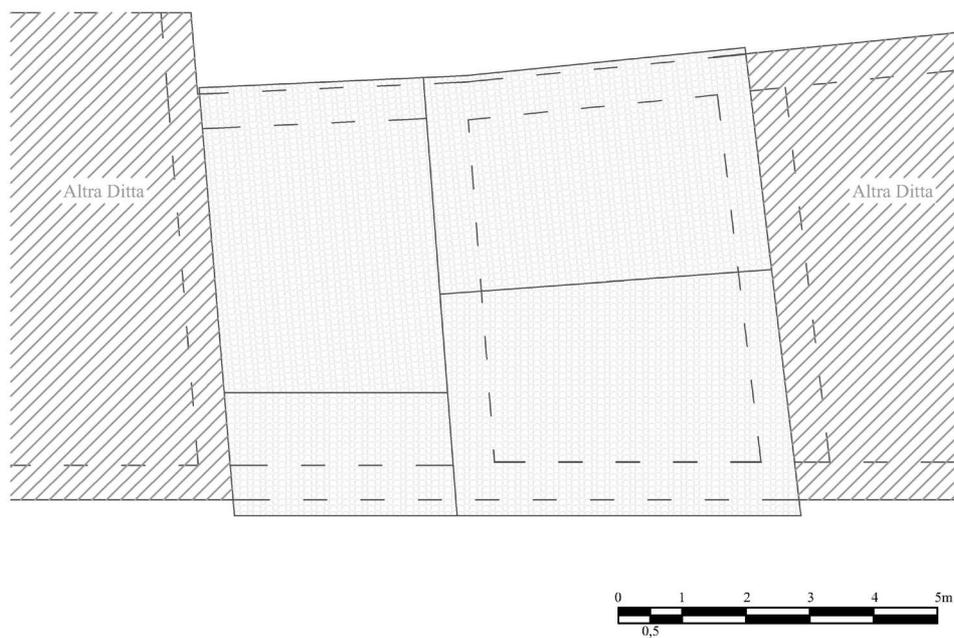
4.1.1 Piante, prospetti e sezioni

4.1.1.1 Piante

PIANTA PIANO TERRA

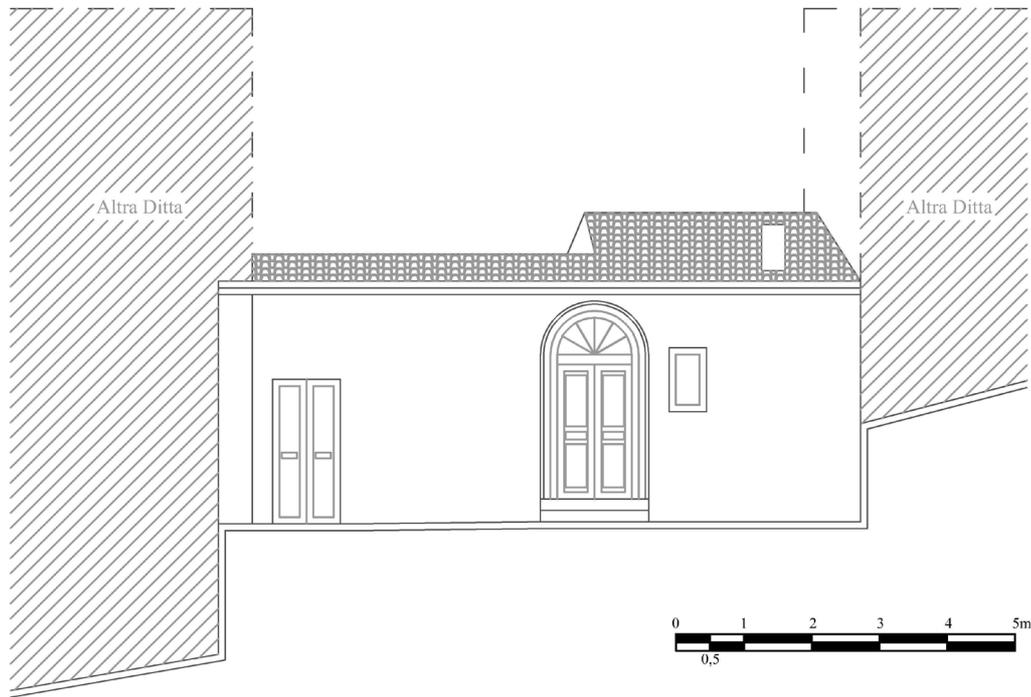


PIANTA COPERTURA

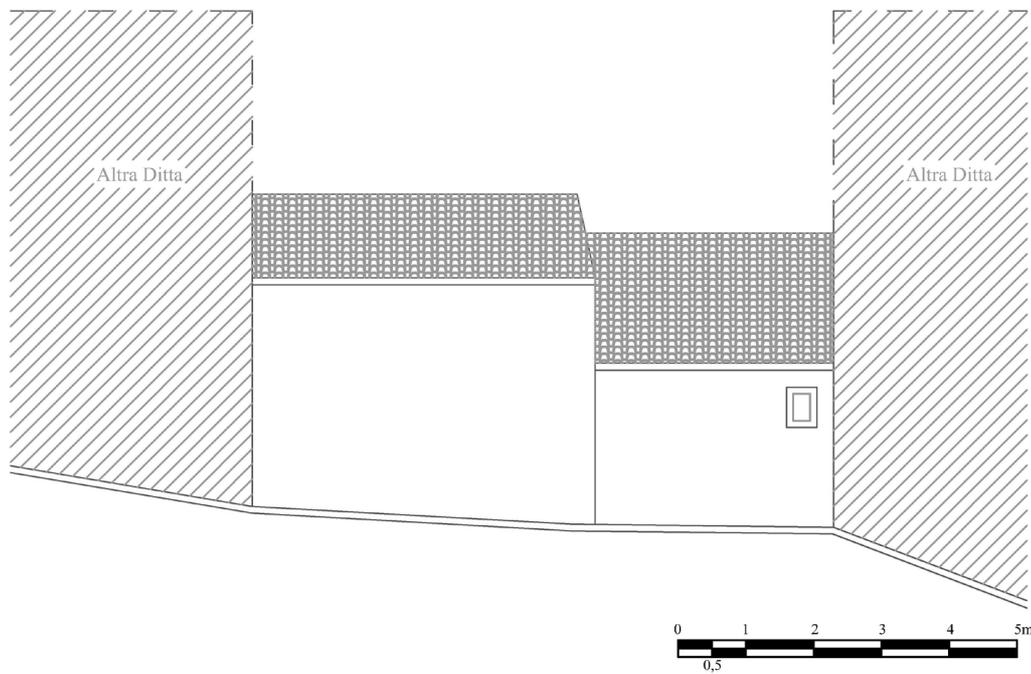


4.1.1.2 Prospetti

PROSPETTO FRONTALE

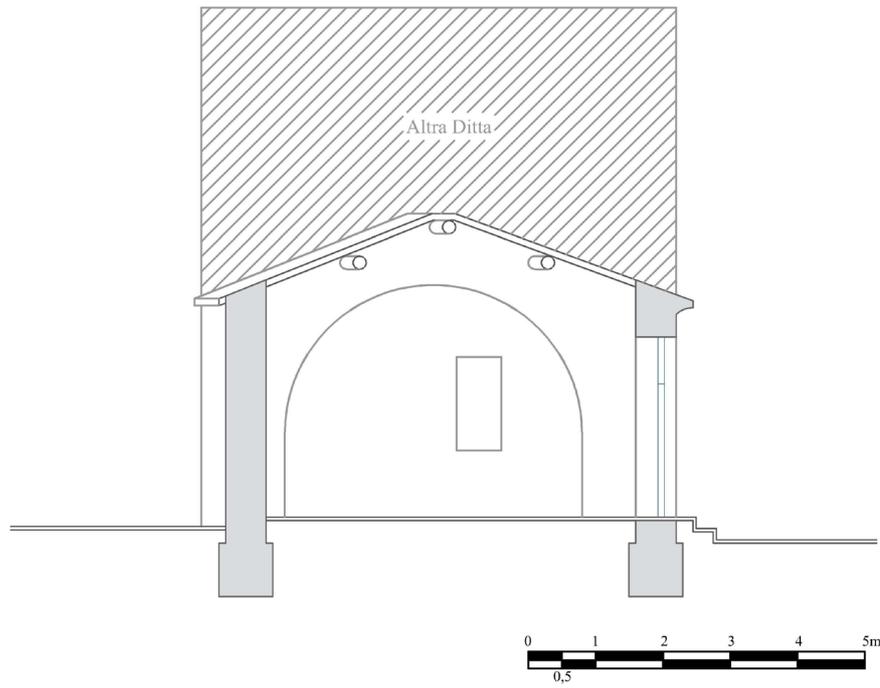


PROSPETTO POSTERIORE

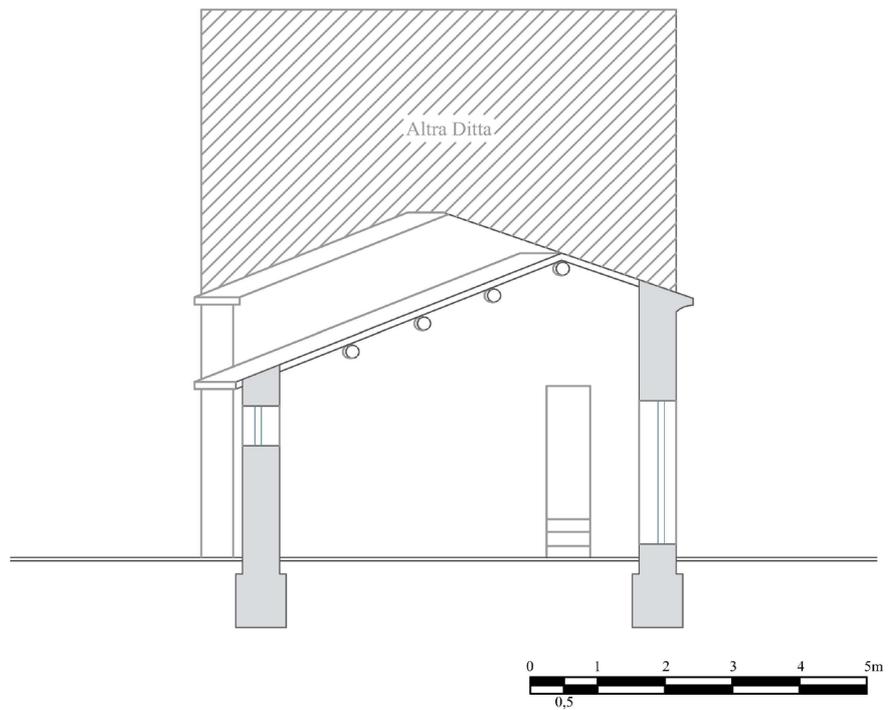


4.1.1.3 Sezioni

SEZIONE A - A'



SEZIONE A - A'



4.1.3 Report fotografico



4.1.4 Schede GNDT-II

4.1.4.1 Scheda GNDT-II originale

G.N.D.T. - SCHEDE DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)					
PARAMETRI		Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHIAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	D	Norme nuove costruzioni (Classe A)	1	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali t_x (U/mq) _____ _____ _____ _____ _____ Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 6.6 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 11.8 Coeff.ti: $a_0 = A/At$ 0.1 $Y = B/A$ 1.8 $q = (Ax+Ay) h \text{ pmv} / At + ps = 2.8$ $C = \frac{a_0 \tau k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a_0 \tau k (1+Y)}} = 0.2$ $\alpha = C/0.4$ 0.39
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	Norme riparazioni (Classe A)	2	
			Cordoli e catene tutti i livelli (Classe B)	3	
			Buoni ammassamenti fra muri (Classe C)	4	
			Senza cordoli cattivi ammassamenti (Classe D)	5	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	(vedi manuale)	...	
			Numero di piani N	1	
			Area totale coperta At (mq)	62	
			Area Ax (mq)	11.8	
			Area Ay (mq)	6.6	
			τk (U/mq)	2	
			Altezza media interpiano h (m)	4	
			Peso Specifico Pareti pm (t/mc)	2.2	
			Carico permanente solai ps (t/mq)	0.2	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Pendenza percentuale del terreno	0	
			Roccia	Si 1 No 2	
			Terr. Sciolto non sping. Fondazioni:	Si 3 No 4	
			Terr. Sciolto sping. Fondazioni:	Si 5 No 6	
			Differenza massima di quota Ah (m)	0	
5	ORIZZONTAMENTI	D	Piani sfalsati	Si 1 No 2	
			Orizzontamenti rigidi e ben collegati	1	
			Orizzontamenti deformabili e ben collegati	2	
			Orizzontamenti rigidi e mal collegati	3	
			Orizzontamenti deformabili e mal collegati	4	
			% Orizzontamenti rigidi e ben collegati	10	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	Rapporto percentuale $\beta 1 = a/l$	0.67	
			Rapporto percentuale $\beta 2 = b/l$		
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	% aumento (+) o diminuzione (-) di massa		
			Rapporto percentuale T/H		
			Percentuale superficie porticata		
			Piano terra porticato	Si 1 No 2	
8	Dmax MURATURE	A	Rapporto massimi l/s	6.15	
9	COPERTURA	C	Copertura: non spingente <input type="checkbox"/> poco spingente <input type="checkbox"/> spingente <input type="checkbox"/>	1 2	
			Cordoli in copertura	Si 1 No 2	
			Catene in copertura	Si 2 No 3	
			Carico permanente copertura pe (t/mq)	0.1	
			Lunghezza appoggio copertura ls (m)	2.5	
			Perimetro copertura (m)	30	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	(Vedi manuale)		
11	STATO DI FATTO	C	(Vedi manuale)		

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	55
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	123.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	168.8	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	171.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	171.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	171.3	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	183.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	183.8	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	208.8	

Parametro 7
 $P7 = 0.5$ se l'irregolarità dell'edificio è data solamente dalla presenza di porticati al piano terra
 $P7 = 1$ in tutti gli altri casi

Parametro 9
 $P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5$
 $a1 = 0.25$ per copertura in latero-cemento o comunque di peso maggiore o uguale a 200 kg/m²
 $a1 = 0$ negli altri casi

$a2 = 0.25$ se il rapporto tra il perimetro della copertura e la lunghezza complessiva delle zone di appoggio è maggiore o uguale a 2
 $a2 = 0$ negli altri casi

Parametro	Punteggi				Peso
	A	B	C	D	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	45	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	1

4.1.4.2 Scheda GNDT-II modificata (classe E)

G.N.D.T. - SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)				
PARAMETRI	Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	E	Nuove norme costruzioni (Classe A) 1 Comportamento scottolare garantito (Classe B) 2 Cordoli o catene in copertura (Classe C) 3 Buoni ammassamenti fra muri (Classe D) 4 Senza cordoli cattivi ammassamenti (Classe E) 5	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) ... Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 6.6 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 11.8 Coeff.ti: a0 = A/At 0.1 Y = B/A 1.8 $q = (Ax+Ay) h pm' / At + ps = 2.8$ $C = \frac{a0 tk}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 tk (1+Y)}} = 0.2$ $\alpha = C/0.4 = 0.39$
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	(vedi manuale) ...	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	Numero di piani N 1 Area totale coperta At (mq) 62 Area Ax (mq) 11.8 Area Ay (mq) 6.6 rk (t/mq) 2 Altezza media interpiano h (m) 4 Peso Specifico Pareti pm (t/mc) 2.2 Carico permanente solai ps (t/mq) 0.2 Pendenza percentuale del terreno 0	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Roccia Fondazioni: Si 1 No 2 Terr. Sciolto non sping. Fondazioni: Si 3 No 4 Terr. Sciolto sping. Fondazioni: Si 5 No 6 Differenza massima di quota Ah (m) 0	
5	ORIZZONTAMENTI	D	Piani sfalsati Si 1 No 2 Orizzontamenti rigidi e ben collegati 1 Orizzontamenti deformabili e ben collegati 2 Orizzontamenti rigidi e mal collegati 3 Orizzontamenti deformabili e mal collegati 4 % Orizzontamenti rigidi e ben collegati 10	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	Rapporto percentuale $\beta1 = a1$ 0.67 Rapporto percentuale $\beta2 = b1$	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	% aumento (+) o diminuzione (-) di massa Rapporto percentuale T/H Percentuale superficie porticata Piano terra porticato Si 1 No 2	
8	Dmax MURATURE	A	Rapporto massimi l/s 6.15	
9	COPERTURA	C	Copertura: non spingente Φ poco spingente 1 spingente 2 Cordoli in copertura Si 1 No 2 Catene in copertura Si 2 No 3 Carico permanente copertura pc (t/mq) 0.1 Lunghezza appoggio copertura l (m) 2.5 Perimetro copertura (m) 30	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	(Vedi manuale)	
11	STATO DI FATTO	C	(Vedi manuale)	

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Lettera	Punteggio		Indice di Vulnerabilità		
		Numero	Peso	Vpar	Vprog	Vtot
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	55
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	123.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	168.8	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	171.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	171.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	171.3	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	183.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	183.8	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	208.8	
1 - Organizzazione del sistema resistente	E	100	1	100.0	100.0	69
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	111.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	178.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	178.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	223.8	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	226.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	226.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	226.3	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	238.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	238.8	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	263.8	

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0
 a2 = 0

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	45	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.1.4.3 Scheda GNDT-II modificata (classe D)

PARAMETRI			Classi		ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHAMI	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	D	Nuove norme costruzioni (Classe A)	1	Comportamento scottolare garantito (Classe B)	2	Parametro 3: Resistenza Convenzionale	
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	Cordoli o catene in copertura (Classe C)	3	Buoni ammassamenti fra muri (Classe D)	4	Tipologia strutture verticali	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	Senza cordoli cattivi ammassamenti (Classe E)	5	(vedi manuale)	...	tx (t/mq)	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Numero di piani N	1	Area totale coperta At (mq)	62	Minimo tra Ax ed Ay	
5	ORIZZONTAMENTI	D	Area Ax (mq)	11.8	Area Ay (mq)	6.6	Massimo tra Ax ed Ay	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	rk (t/mq)	2	Altezza media interpiano h (m)	4	Coeff.Eti: ao = A/At	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	Peso Specifico Pareti pm (t/mc)	2.2	Carico permanente solai ps (t/mq)	0.2	Y = B/A	
8	Dmax MURATURE	A	Pendenza percentuale del terreno	0	Roccia	Si 1	No 2	
9	COPERTURA	C	Terr. Sciolto non sping. Fondazioni: Si 3 No 4	4	Terr. Sciolto sping. Fondazioni: Si 5 No 6	0	Differenza massima di quota Ah (m)	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	Piani sfalsati	2	Si 1	No 2	Orizzontamenti rigidi e ben collegati	
11	STATO DI FATTO	C	Orizzontamenti rigidi e ben collegati	1	Orizzontamenti deformabili e ben collegati	2	Orizzontamenti rigidi e mal collegati	
			Orizzontamenti deformabili e mal collegati	3	% Orizzontamenti rigidi e ben collegati	4	% Orizzontamenti rigidi e ben collegati	
			Rapporto percentuale B1 = a1	10	Rapporto percentuale B2 = b1	0.67	% aumento (+) o diminuzione (-) di massa	
			Rapporto percentuale TH		Rapporto percentuale TH		Percentuale superficie porticata	
			Piano terra porticato	2	Si 1	No 2		
			Rapporto massimi l/s	6.15				
			Copertura: non spingente	1	poco spingente	2	spingente	
			Cordoli in copertura	Si 1	No 2			
			Catene in copertura	Si 2	No 3			
			Carico permanente copertura pc (t/mq)	0.1				
			Lunghezza appoggio copertura ls (m)	2.5				
			Perimetro copertura (m)	30				
			(Vedi manuale)					
			(Vedi manuale)					

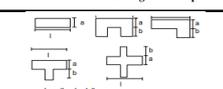
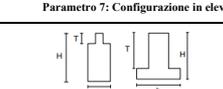
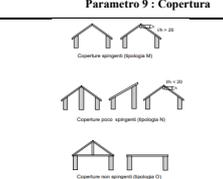
INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Lettera	Punteggio		Indice di Vulnerabilità		
		Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	55
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	123.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	168.8	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	171.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	171.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	171.3	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	183.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	183.8	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	208.8	
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	70	1	70.0	70.0	61
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	81.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	148.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	148.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	193.8	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	196.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	196.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	196.3	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	208.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	208.8	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	233.8	

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0
 a2 = 0

Parametro	A	B	C	D	E	Peso
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.1.4.4 Scheda GNDT-II modificata (classe C)

PARAMETRI			Classi		ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHAMI	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	C	Nuove norme costruzioni	(Classe A)	1	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali: tx (t/mq) Minimo tra Ax ed Ay: A (mq) 6.6 Massimo tra Ax ed Ay: B (mq) 11.8 Coef.Eti: a0 = A/At 0.1 Y = B/A 1.8 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm} / At + ps = 2.8$ $C = \frac{a0 \cdot \tau k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 \cdot \tau k (1+Y)}} = 0.2$ $\alpha = C/0.4 = 0.39$		
			Comportamento scotolare garantito	(Classe B)	2			
			Cordoli o catene in copertura	(Classe C)	3			
			Buoni ammassamenti fra muri	(Classe D)	4			
			Senza cordoli cattivi ammassamenti	(Classe E)	5			
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	(vedi manuale)		...			
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	Numero di piani N		1	Parametro 6: Configurazione planimetrica 		
			Area totale coperta At (mq)		62			
			Area Ax (mq)		11.8			
			Area Ay (mq)		6.6			
			rk (t/mq)		2			
			Altezza media interpiano h (m)		4			
			Peso Specifico Pareti pm (t/mc)		2.2			
Carico permanente solai ps (t/mq)		0.2						
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Pendenza percentuale del terreno		0	Parametro 7: Configurazione in elevazione 		
			Roccia	Fondazioni:	Si 1		No 2	
			Terr. Scioltissimo	Fondazioni:	Si 3		No 4	
			Terr. Scioltissimo	Fondazioni:	Si 5		No 6	
5	ORIZZONTAMENTI	D	Differenza massima di quota Ah (m)		0	Parametro 9: Copertura 		
			Piani sfalsati	Si 1	No 2			
			Orizzontamenti rigidi e ben collegati		1			
			Orizzontamenti deformabili e ben collegati		2			
			Orizzontamenti rigidi e mal collegati		3			
			Orizzontamenti deformabili e mal collegati		4			
			% Orizzontamenti rigidi e ben collegati		10			
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	Rapporto percentuale B1 = a1		0.67			
			Rapporto percentuale B2 = b1					
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	% aumento (+) o diminuzione (-) di massa					
			Rapporto percentuale T/H					
			Percentuale superficie porticata					
8	Dmax MURATURE	A	Piano terra porticato	Si 1	No 2			
			Rapporto massimi l/s		6.15			
9	COPERTURA	C	Copertura: non spingente	1	2			
			Cordoli in copertura	Si 1	No 2			
			Catene in copertura	Si 2	No 3			
			Carico permanente copertura pe (t/mq)		0.1			
			Lunghezza appoggio copertura ls (m)		2.5			
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	Perimetro copertura (m)		30			
			(Vedi manuale)					
11	STATO DI FATTO	C	(Vedi manuale)					

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Lettera	Punteggio		Indice di Vulnerabilità		
		Numero	Peso	Vpur	Vpso	Vtot
1 - Organizzazione del sistema resistente	C	25	1	25.0	25.0	49
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	36.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	103.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	103.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	148.8	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	151.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	151.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	151.3	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	163.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	163.8	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	188.8	
1 - Organizzazione del sistema resistente	C	25	1	25.0	25.0	49
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	36.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	103.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	103.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	148.8	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	151.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	151.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	151.3	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	163.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	163.8	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	188.8	

Parametro 7: P7 = 0.5
 Parametro 9: P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0
 a2 = 0

Parametro	Punteggi				Peso
	A	B	C	D	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	1

4.1.4.5 Scheda GNDT-II modificata (classe B)

PARAMETRI			Classi		ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHAMI	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	B	Nuove norme costruzioni	(Classe A)	1	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 6.6 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 11.8 Coef.Fti: a0 = A/At 0.1 Y = B/A 1.8 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm}' / At + ps = 2.8$ $C = \frac{a0 \cdot tk}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 \cdot tk (1+Y)}} = 0.5$ $\alpha = C/0.4 = 1.21$		
2	QUALITÀ DEL S.R.	B	Comportamento scolare garantito	(Classe B)	2			
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	A	Cordoli o catene in copertura	(Classe C)	3			
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Buoni ammassamenti fra muri	(Classe D)	4			
5	ORIZZONTAMENTI	A	Senza cordoli cattivi ammassamenti	(Classe E)	5			
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	(vedi manuale)		...			
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	Numero di piani N		1			
8	Dmax MURATURE	A	Area totale coperta At (mq)		62			
9	COPERTURA	C	Area Ax (mq)		11.8			
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	Area Ay (mq)		6.6			
11	STATO DI FATTO	C	rk (t/mq)		10			
			Altezza media interpiano h (m)		4			
			Peso Specifico Pareti pm (t/mc)		2.2			
			Carico permanente solai ps (t/mq)		0.2			
			Pendenza percentuale del terreno		0			
			Roccia	Fondazioni: Si 1 No 2				
			Terr. Sciolto non sping.	Fondazioni: Si 3 No 4				
			Terr. Sciolto sping.	Fondazioni: Si 5 No 6				
			Differenza massima di quota Ah (m)		0			
			Piani sfalsati	Si 1 No 2				
			Orizzontamenti rigidi e ben collegati		1			
			Orizzontamenti deformabili e ben collegati		2			
			Orizzontamenti rigidi e mal collegati		3			
			Orizzontamenti deformabili e mal collegati		4			
			% Orizzontamenti rigidi e ben collegati		100			
			Rapporto percentuale B1 = a1		0.67			
			Rapporto percentuale B2 = h1					
			% aumento (+) o diminuzione (-) di massa					
			Rapporto percentuale T/H					
			Percentuale superficie porticata					
			Piano terra porticato	Si 1 No 2				
			Rapporto massimi l/s		6.15			
			Copertura: non spingente	1 poco spingente 2 spingente				
			Cordoli in copertura	Si 1 No 2				
			Catene in copertura	Si 2 No 3				
			Carico permanente copertura pe (t/mq)		0.1			
			Lunghezza appoggio copertura ls (m)		2.5			
			Perimetro copertura (m)		30			
			(Vedi manuale)					
			(Vedi manuale)					

INDICE DI VULNERABILITÀ

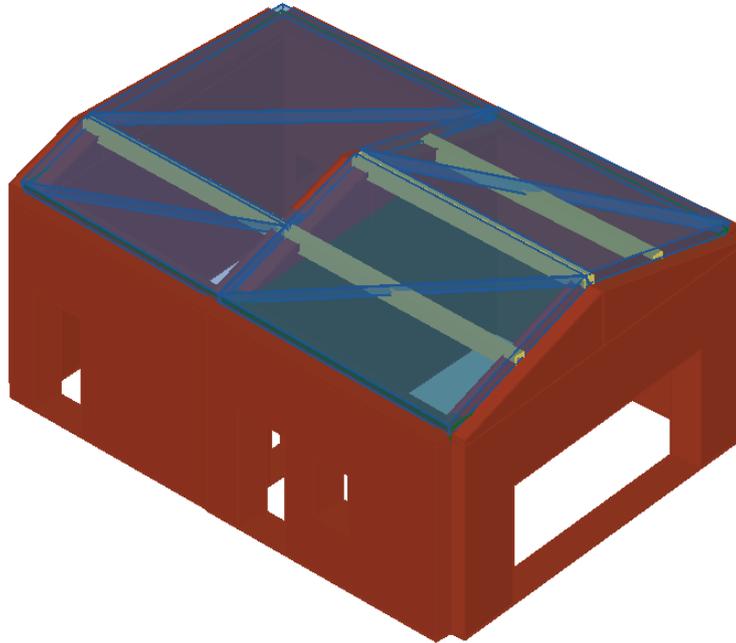
Parametro	Lettera	Punteggio		Indice di Vulnerabilità		
		Numero	Peso	Vpar	Vprog	Vtot
1 - Organizzazione del sistema resistente	B	5	1	5.0	5.0	12
2 - Qualità del sistema resistente	B	5	0.25	1.3	6.3	
3 - Resistenza convenzionale	A	0	1.5	0.0	6.3	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	6.3	
5 - Orizzontamenti	A	0	1	0.0	6.3	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	8.8	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	8.8	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	8.8	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	21.3	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	21.3	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	46.3	
1 - Organizzazione del sistema resistente	B	5	1	5.0	5.0	12
2 - Qualità del sistema resistente	B	5	0.25	1.3	6.3	
3 - Resistenza convenzionale	A	0	1.5	0.0	6.3	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	6.3	
5 - Orizzontamenti	A	0	1	0.0	6.3	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	8.8	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	8.8	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	8.8	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	21.3	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	21.3	
11 - Stato di fatto	C	25	1	25.0	46.3	

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0
 a2 = 0

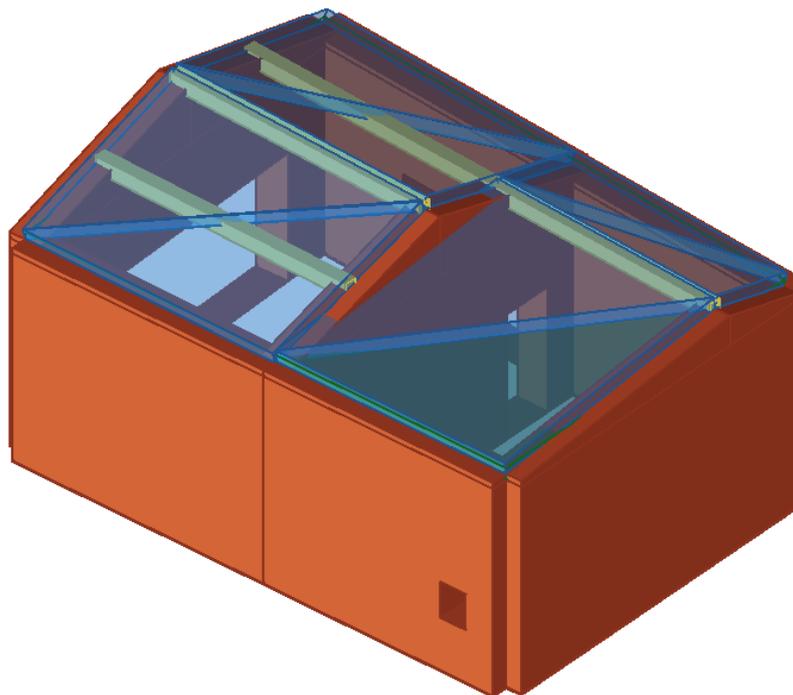
Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.1.5 Modello di calcolo in 3muri

Vista Anteriore



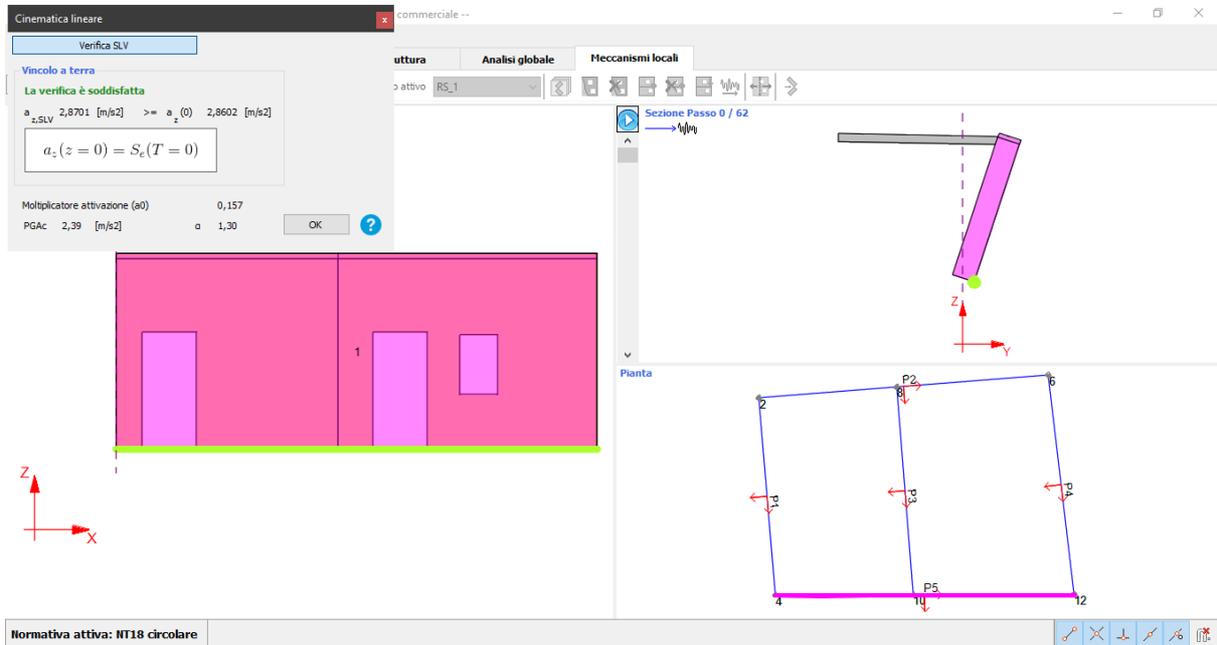
Vista Posteriore



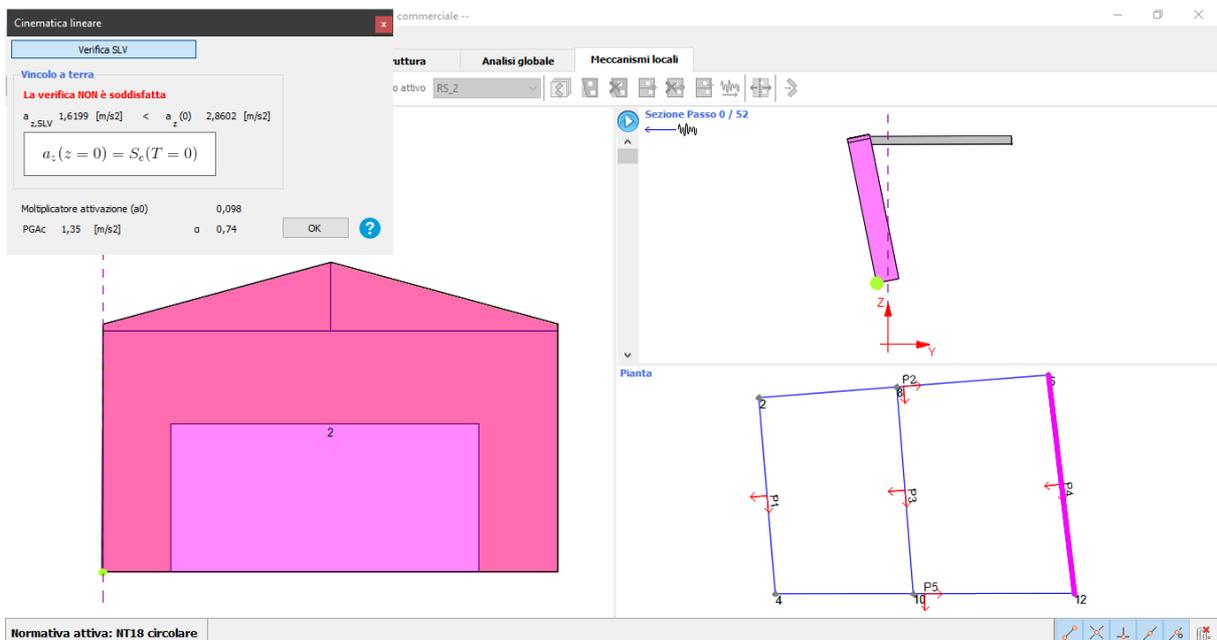
4.1.6 Risultati analisi cinematica lineare

4.1.6.1 Ribaltamento semplice

Parete 1



Parete 2



Parete 3

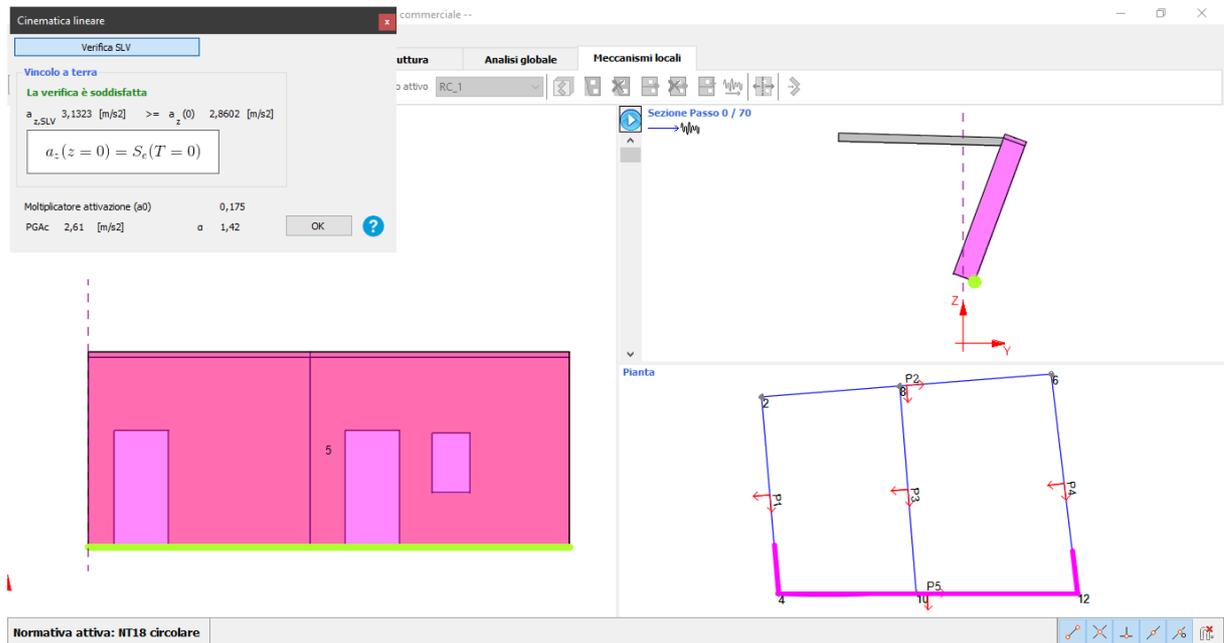
The screenshot displays the 'Cinematica lineare' software interface. On the left, a 'Verifica SLV' dialog box is open, showing a failure message: 'La verifica NON è soddisfatta'. The acceleration values are $a_{z,SLV} = 2,7228 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and $a_z(0) = 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$. The activation multiplier is $a_0 = 0,153$. The PGAc value is $2,27 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and the parameter α is $1,24$. The equation $a_z(z=0) = S_c(T=0)$ is displayed. Below the dialog is a pink 3D model of a wall section labeled '3'. On the right, the main software window shows a 3D view of a mechanical assembly with a pink beam and a blue frame. The 'Pianta' view below shows a 2D projection of the frame with nodes 2, 4, 6, 8, 10, 12 and points P2, P5. The status bar at the bottom indicates 'Normativa attiva: IT18 circolare'.

Parete 4

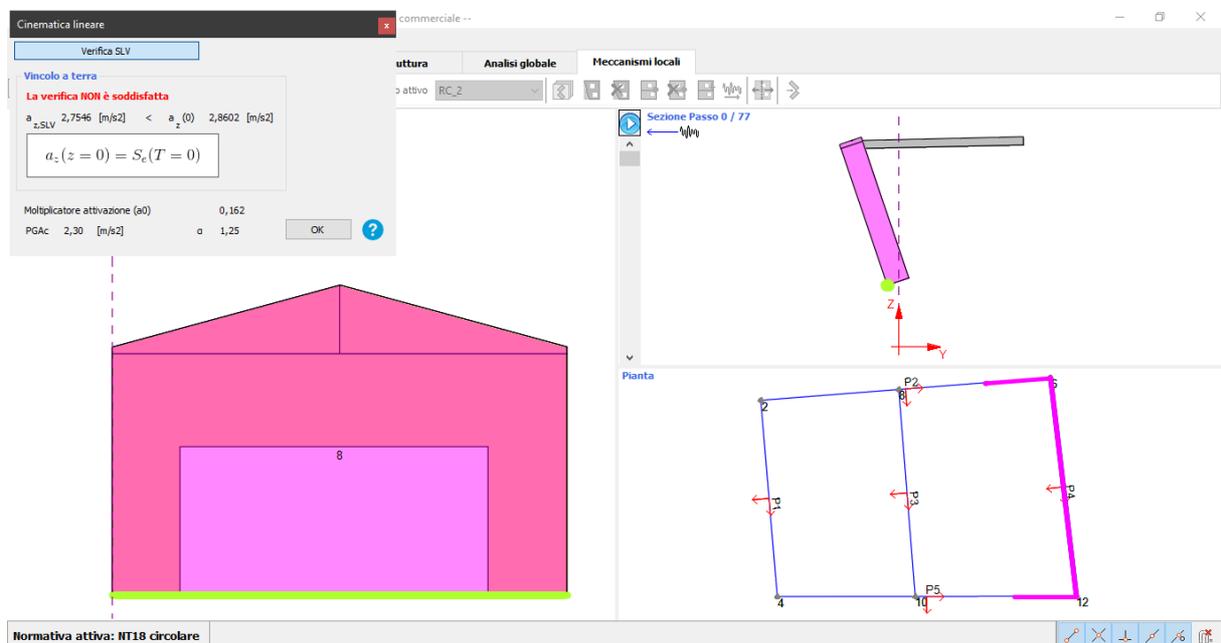
The screenshot displays the 'Cinematica lineare' software interface. On the left, a 'Verifica SLV' dialog box is open, showing a success message: 'La verifica NON è soddisfatta'. The acceleration values are $a_{z,SLV} = 2,4267 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and $a_z(0) = 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$. The activation multiplier is $a_0 = 0,146$. The PGAc value is $2,02 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and the parameter α is $1,10$. The equation $a_z(z=0) = S_c(T=0)$ is displayed. Below the dialog is a pink 3D model of a wall section labeled '4'. On the right, the main software window shows a 3D view of a mechanical assembly with a pink beam and a blue frame. The 'Pianta' view below shows a 2D projection of the frame with nodes 2, 4, 6, 8, 10, 12 and points P2, P5. The status bar at the bottom indicates 'Normativa attiva: IT18 circolare'.

4.1.6.2 Ribaltamento composto

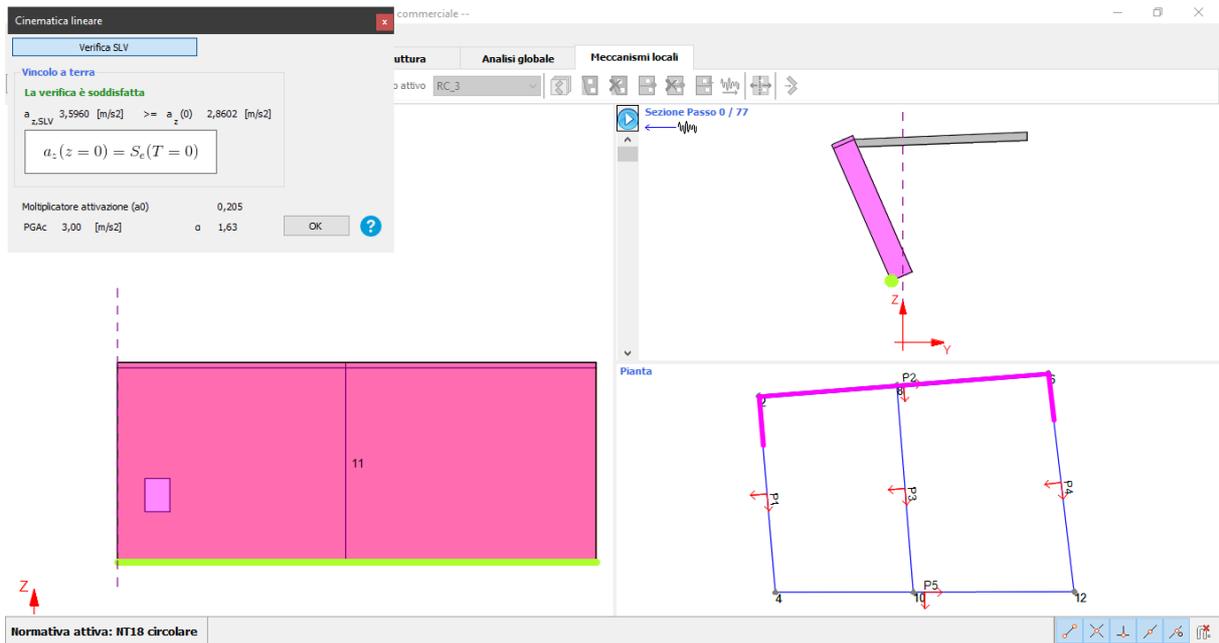
Parete 1



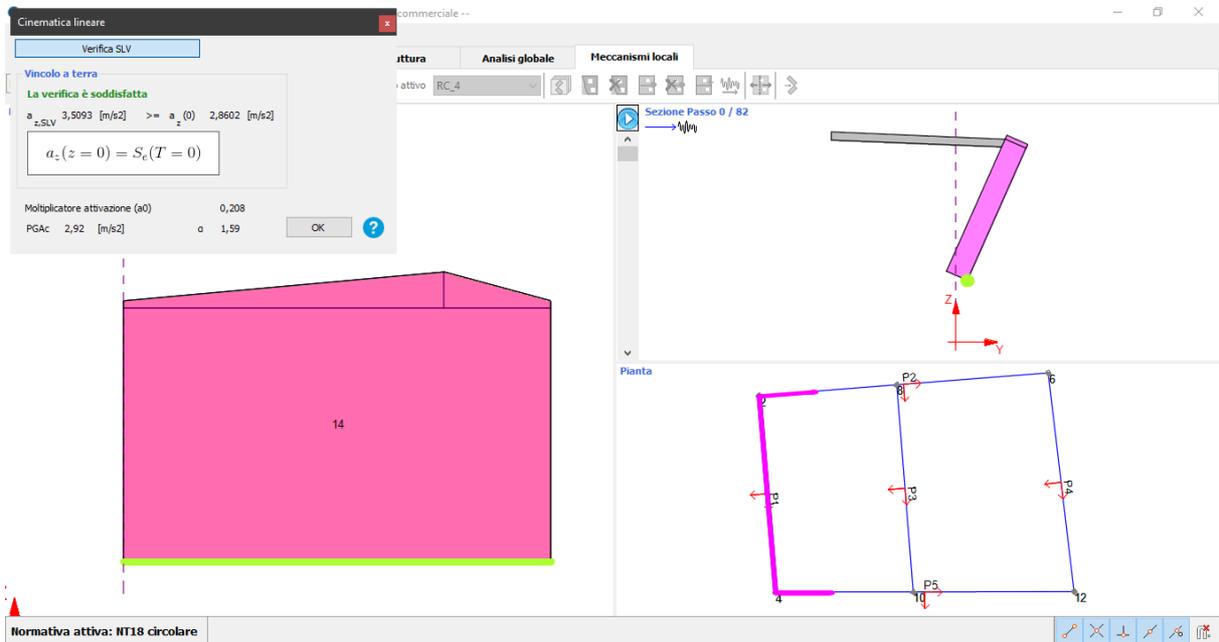
Parete 2



Parete 3

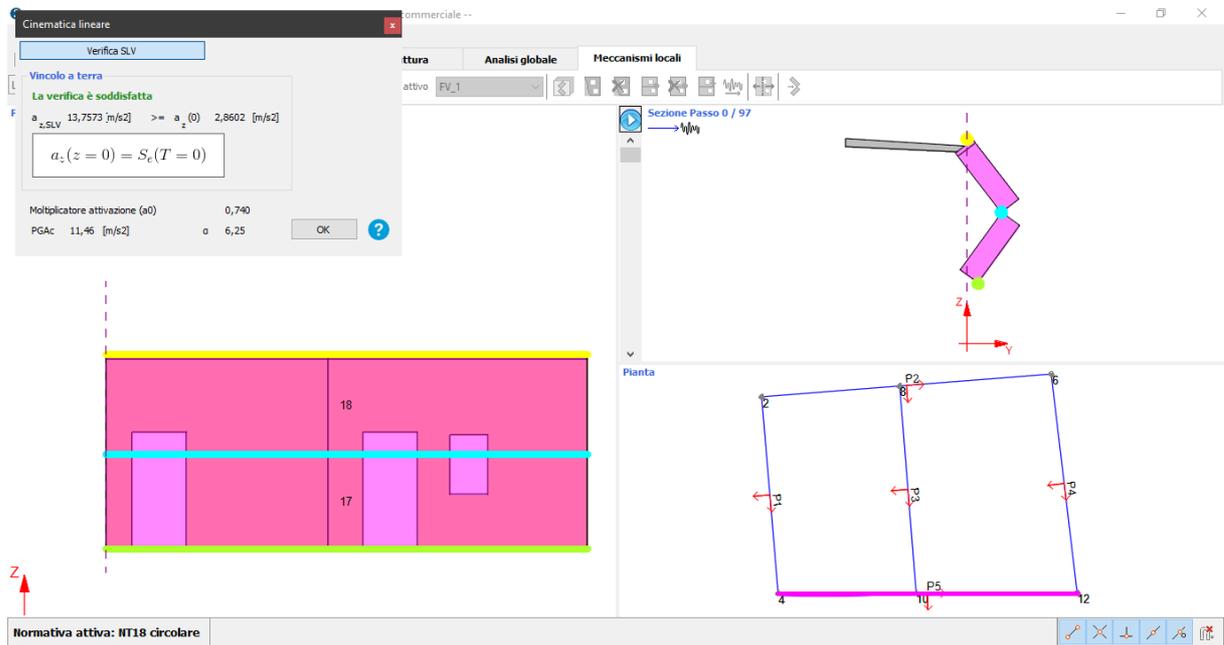


Parete 4

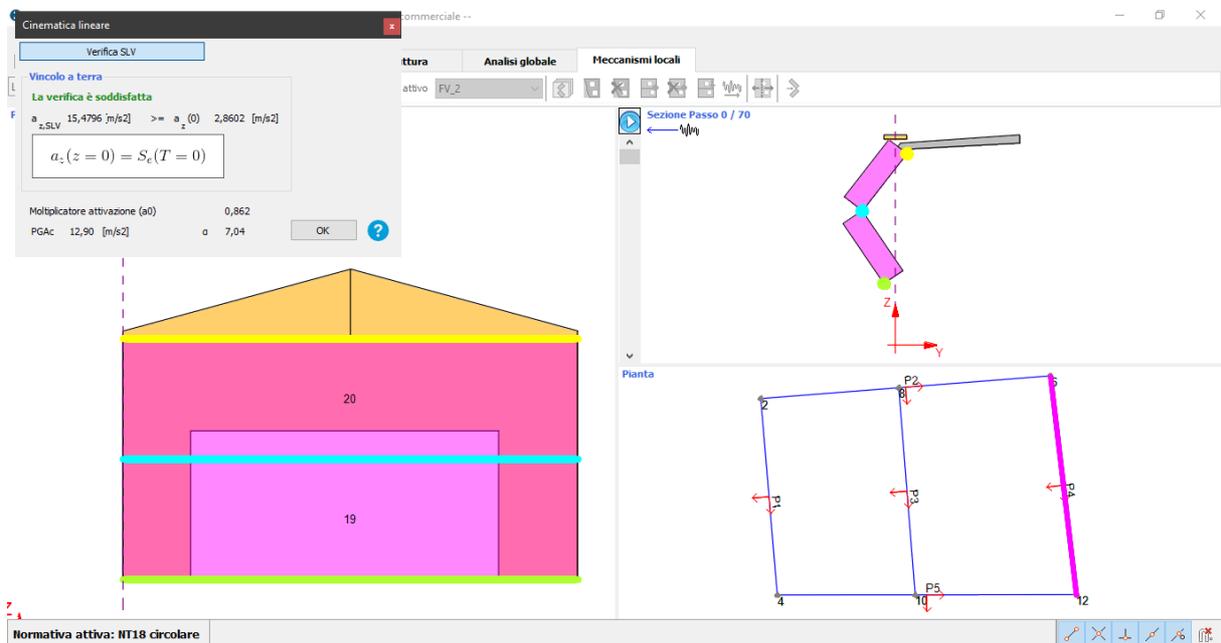


4.1.6.3 Flessione verticale

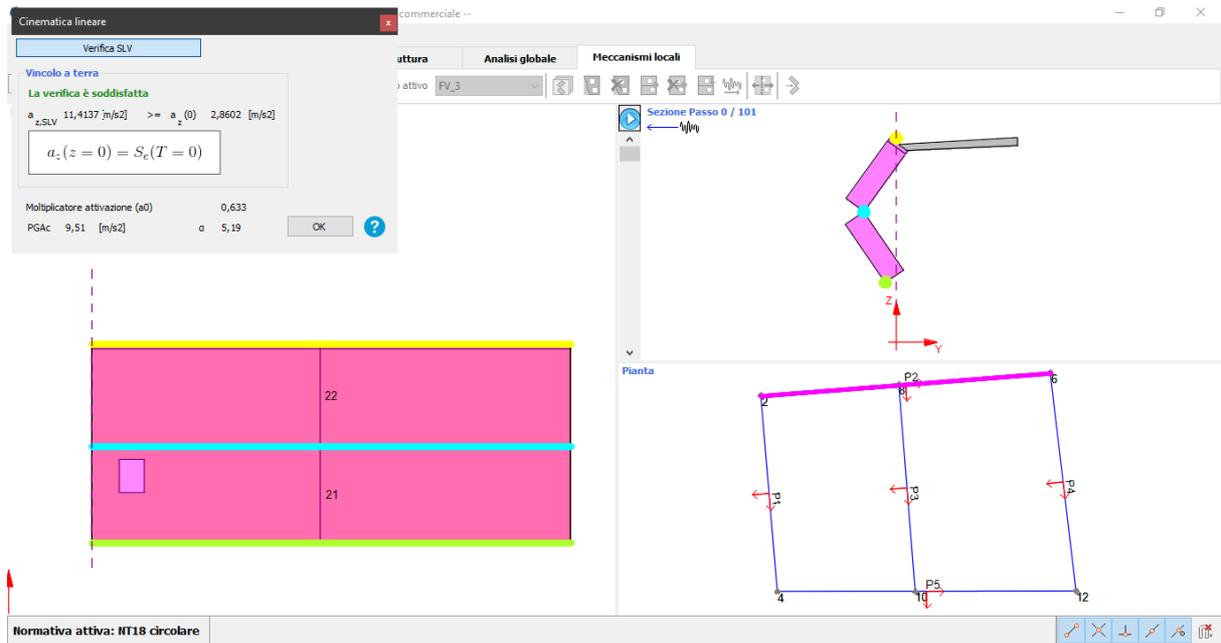
Parete 1



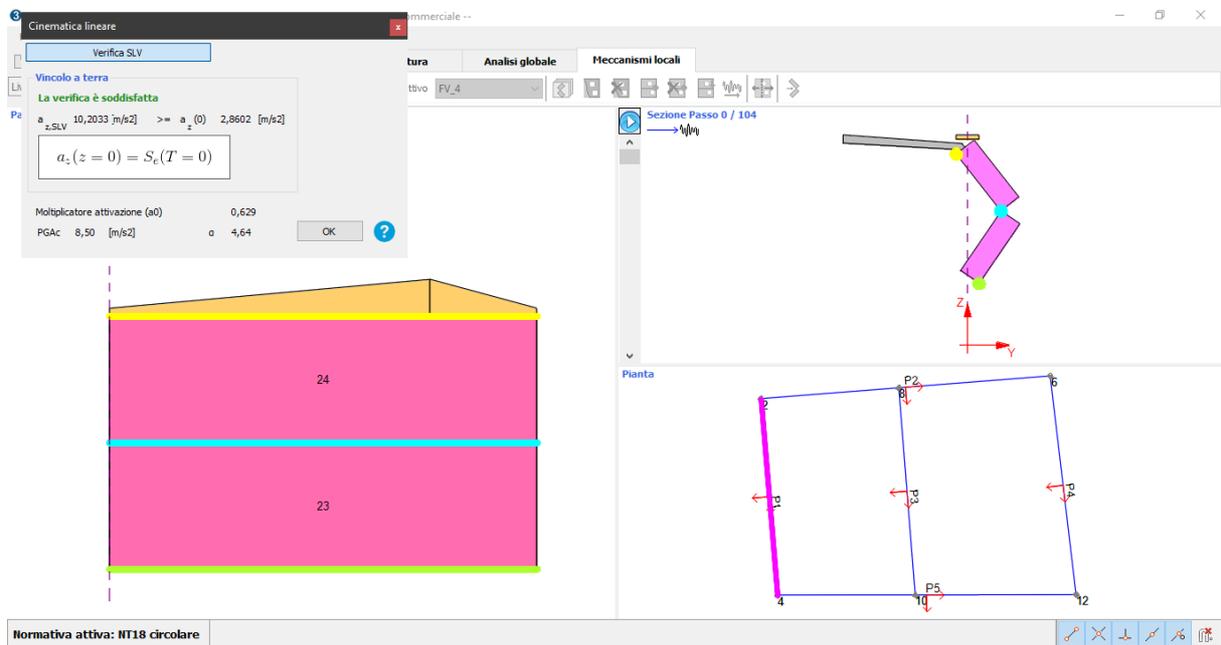
Parete 2



Parete 3



Parete 4



4.1.6.4 Riepilogo risultati

Ribatamento Semplice - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s ²)	a^* (0-min) (m/s ²)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	2.87	2.86	in	0.287	0.04	1.65	8.9	4 = 5
2	1.62	2.86	out	0.162				
3	2.72	2.86	out	0.272				
4	2.42	2.86	out	0.242				

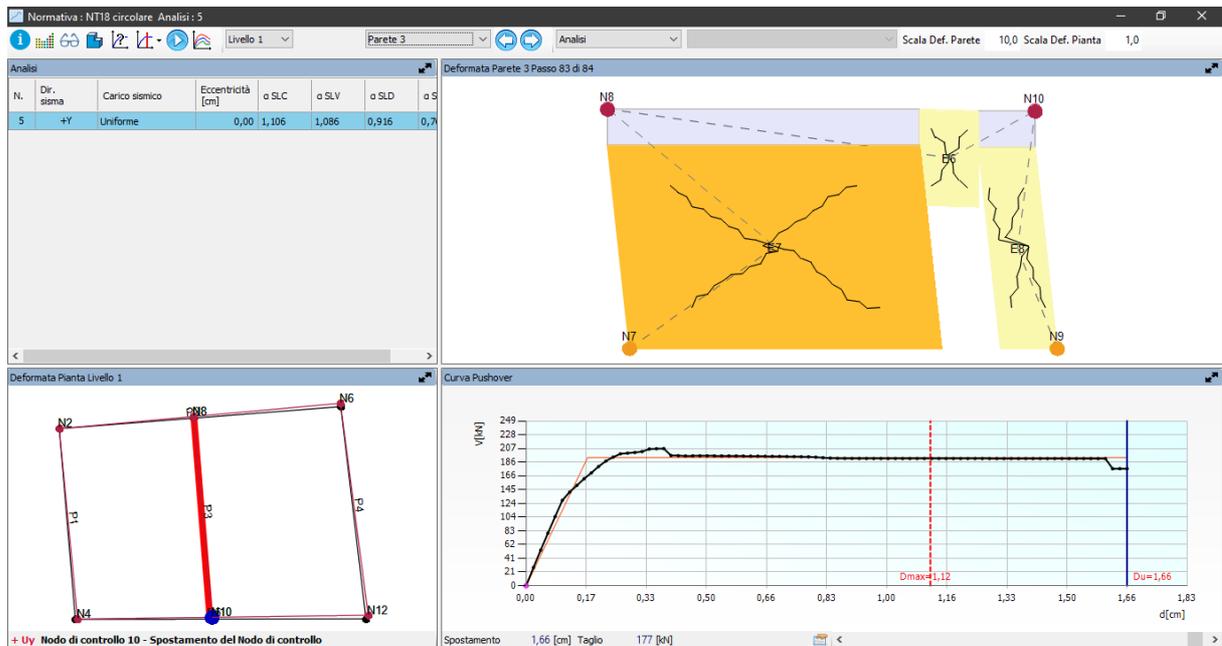
Ribatamento Composto - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s ²)	a^* (0-min) (m/s ²)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	3.13	2.86	in	0.313	0.04	1.65	9.1	4 = 5
2	2.75	2.86	out	0.275				
3	3.59	2.86	in	0.359				
4	3.5	2.86	in	0.35				

Flessione Verticale - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s ²)	a^* (0-min) (m/s ²)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	13.75	2.86	in	1.375	0.04	1.65	12.1	4 = 5
2	15.5	2.86	in	1.55				
3	11.44	2.86	in	1.144				
4	10.2	2.86	in	1.02				

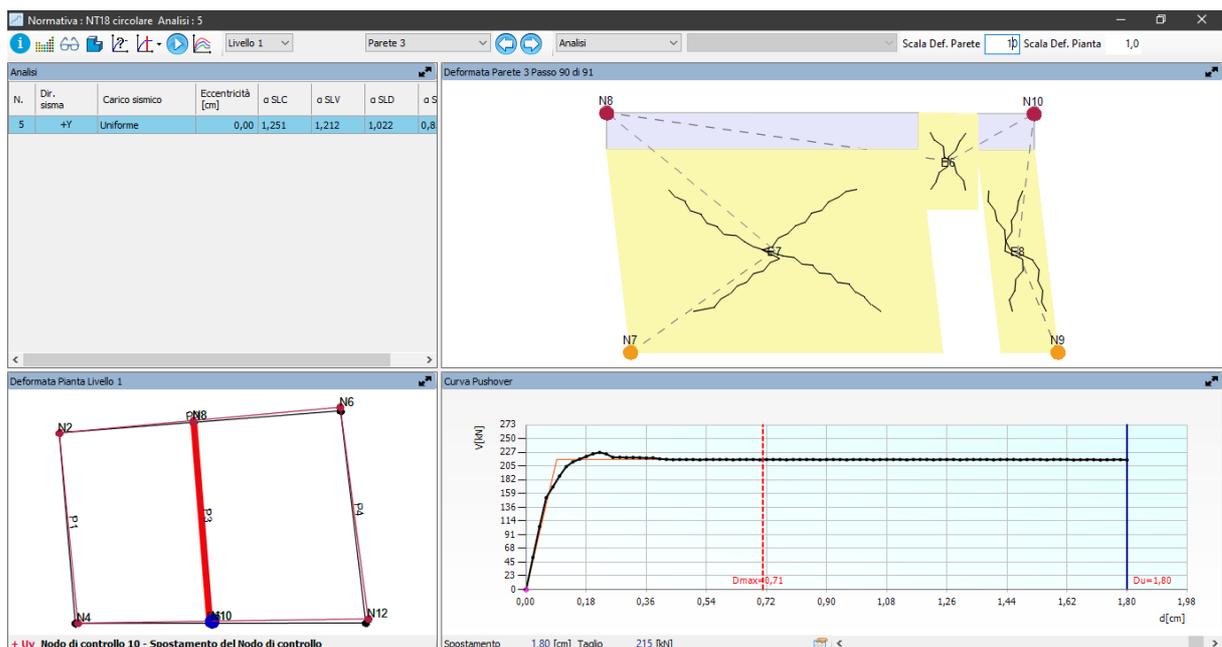
4.1.7 Analisi statica non lineare

Sono state effettuate diverse analisi statiche non lineare, una per ogni tipo di rinforzo studiato ed una per ogni combinazione tra rinforzi.

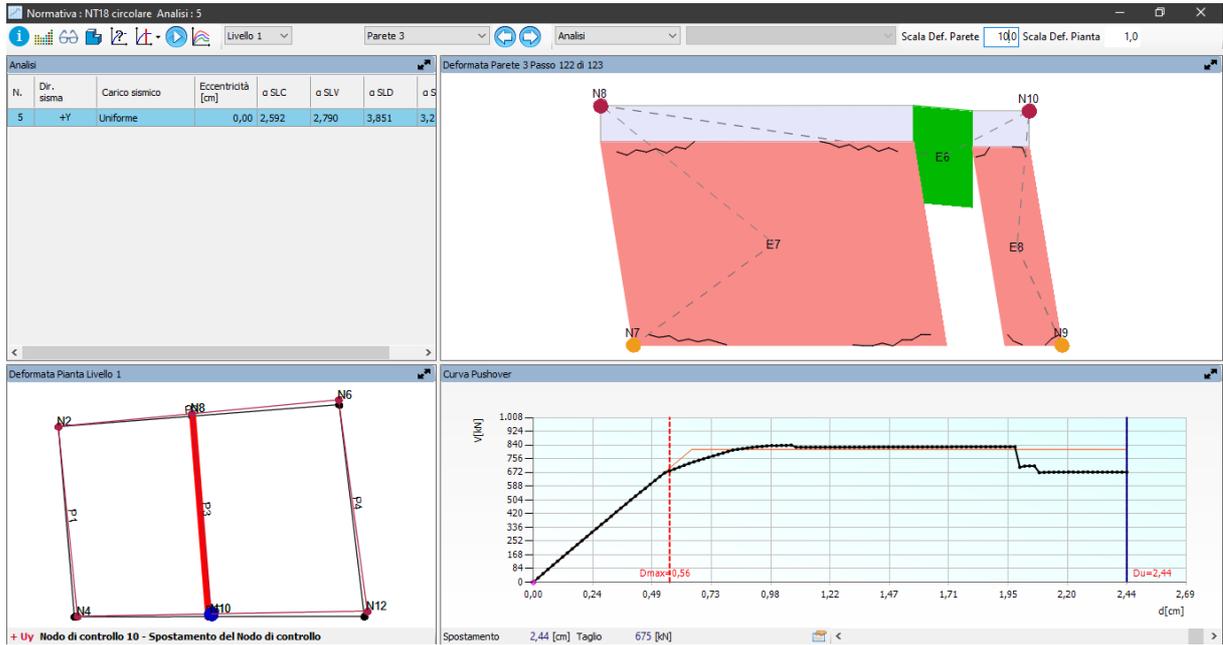
4.1.7.1 Solaio rigido



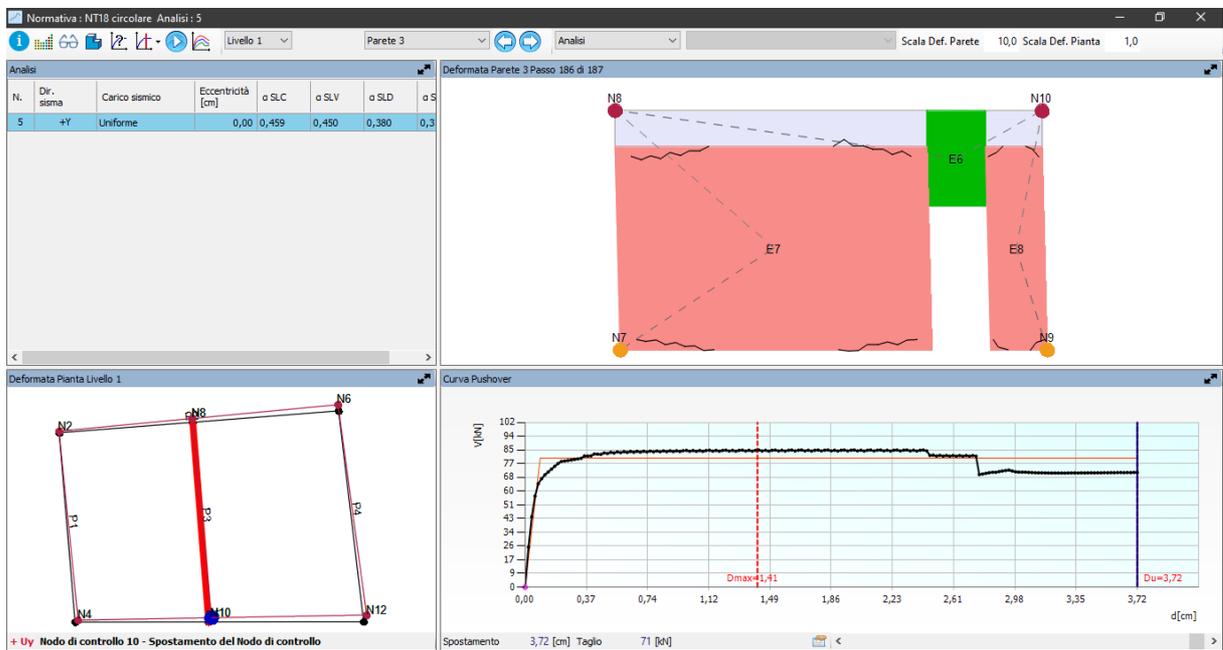
4.1.7.2 Solaio rigido e iniezioni di malta



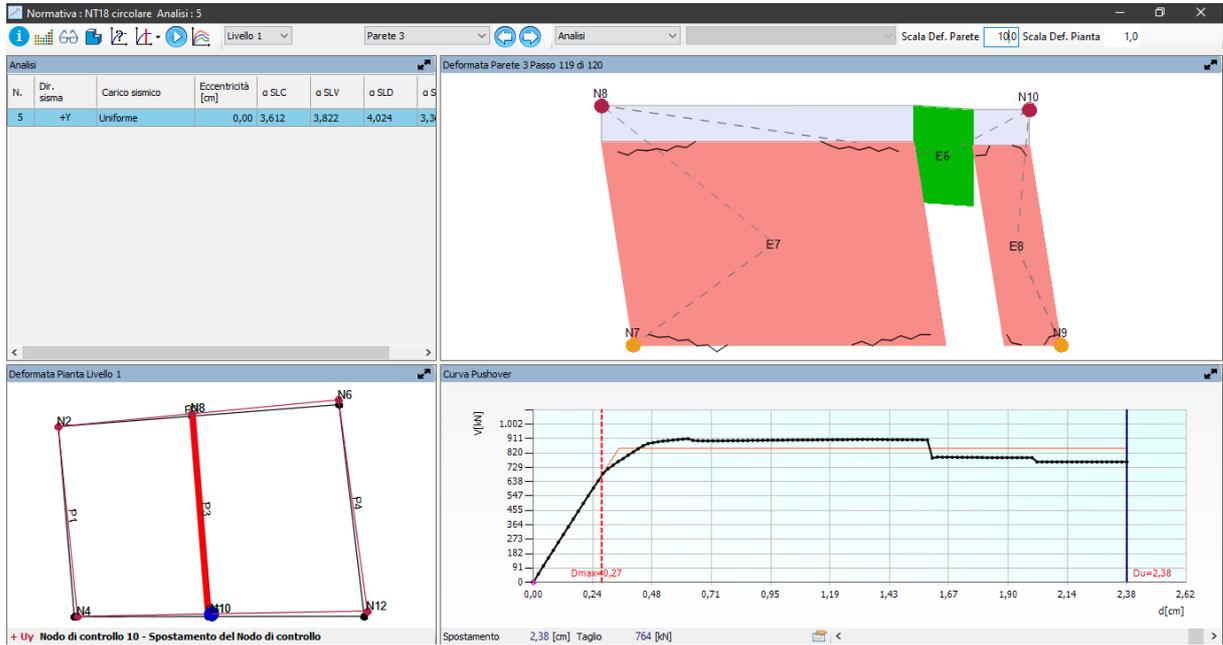
4.1.7.3 Solaio rigido e intonaco armato (rete elettrosaldata)



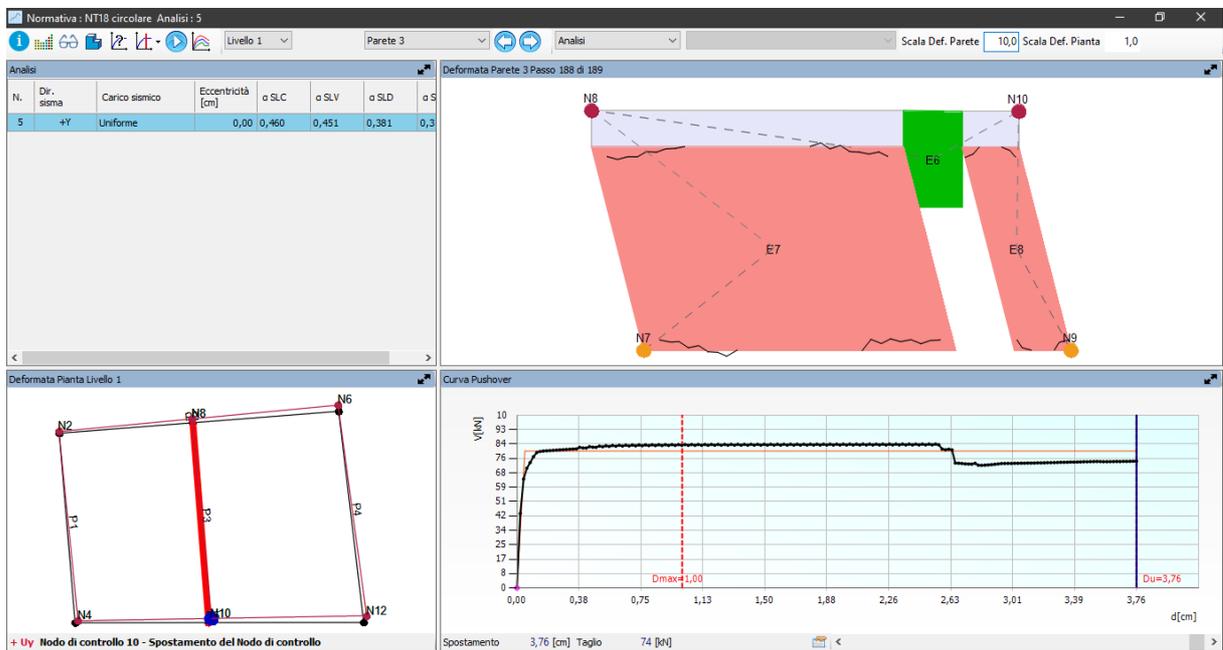
4.1.7.4 Solaio rigido e FRP



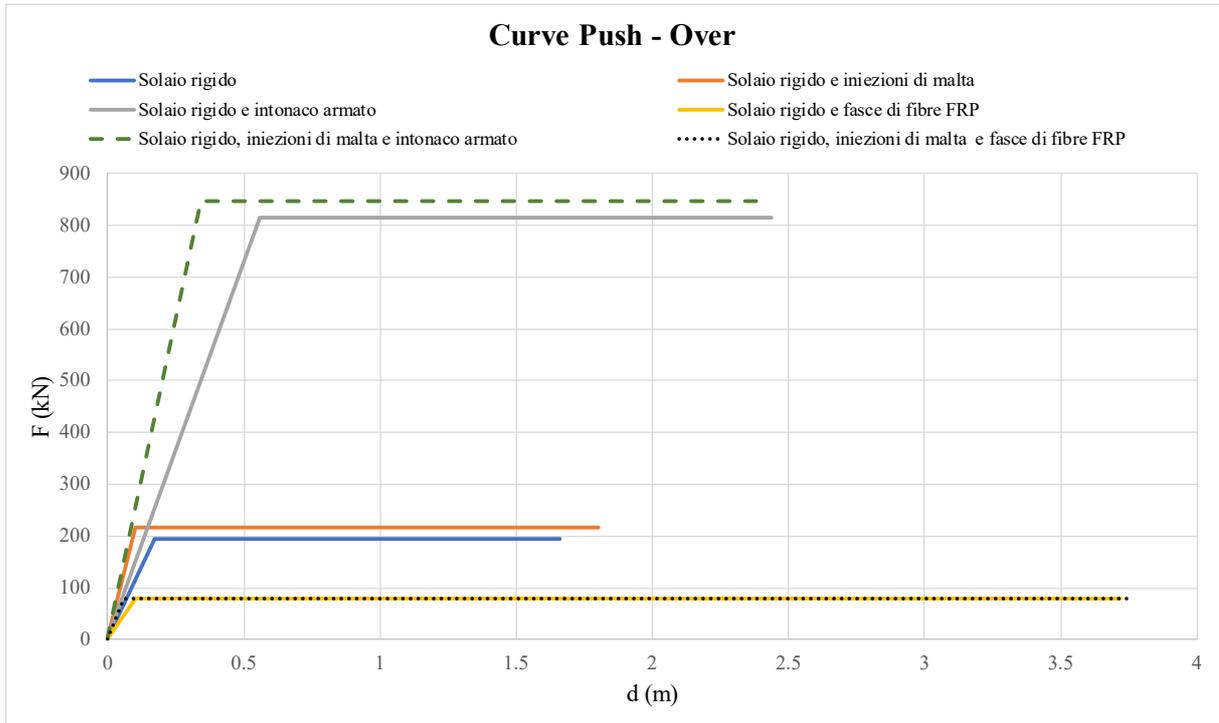
4.1.7.5 Solaio rigido, iniezioni di malta ed intonaco armato (rete elettrosaldata)



4.1.7.6 Solaio rigido, iniezioni di latta e FRP



4.1.7.7 Riepilogo risultati



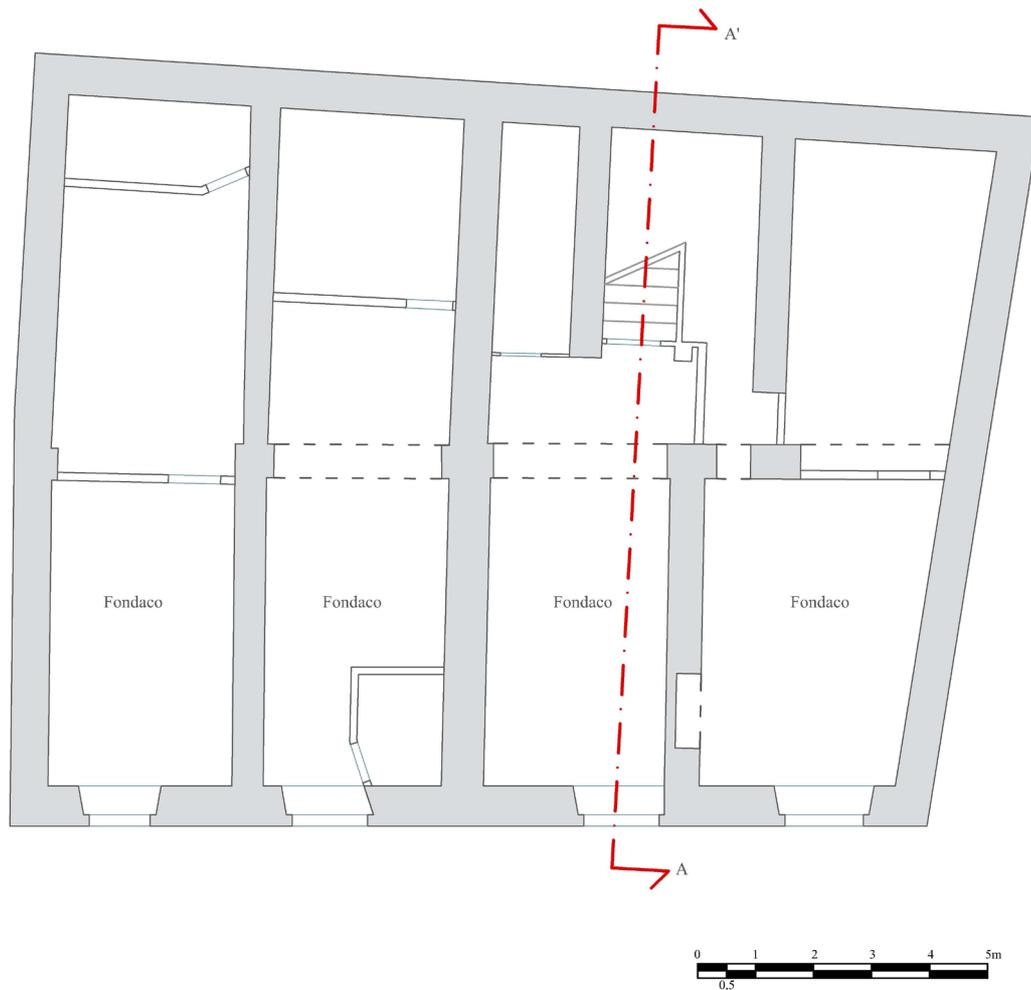
TIPO DI RINFORZO	Bilinearizzata			Limiti di Danno					
	dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D
Solaio rigido	0.17	1.66	195	0.119	0.187	0.915	1.66	1.12	D4
Solaio rigido e iniezioni di malta	0.1	1.8	216	0.07	0.11	0.95	1.8	0.71	D3
Solaio rigido e intonaco armato	0.56	2.44	814	0.392	0.616	1.5	2.44	0.56	D2
Solaio rigido e fasce di fibre FRP	0.1	3.72	80	0.07	0.11	1.91	3.72	1.41	D3
Solaio rigido, iniezioni di malta e intonaco armato	0.34	2.38	847	0.238	0.374	1.36	2.38	0.27	D2
Solaio rigido, iniezioni di malta e fasce di fibre FRP	0.06	3.76	80	0.042	0.066	1.91	3.76	1	D3

4.2 EDIFICIO 2

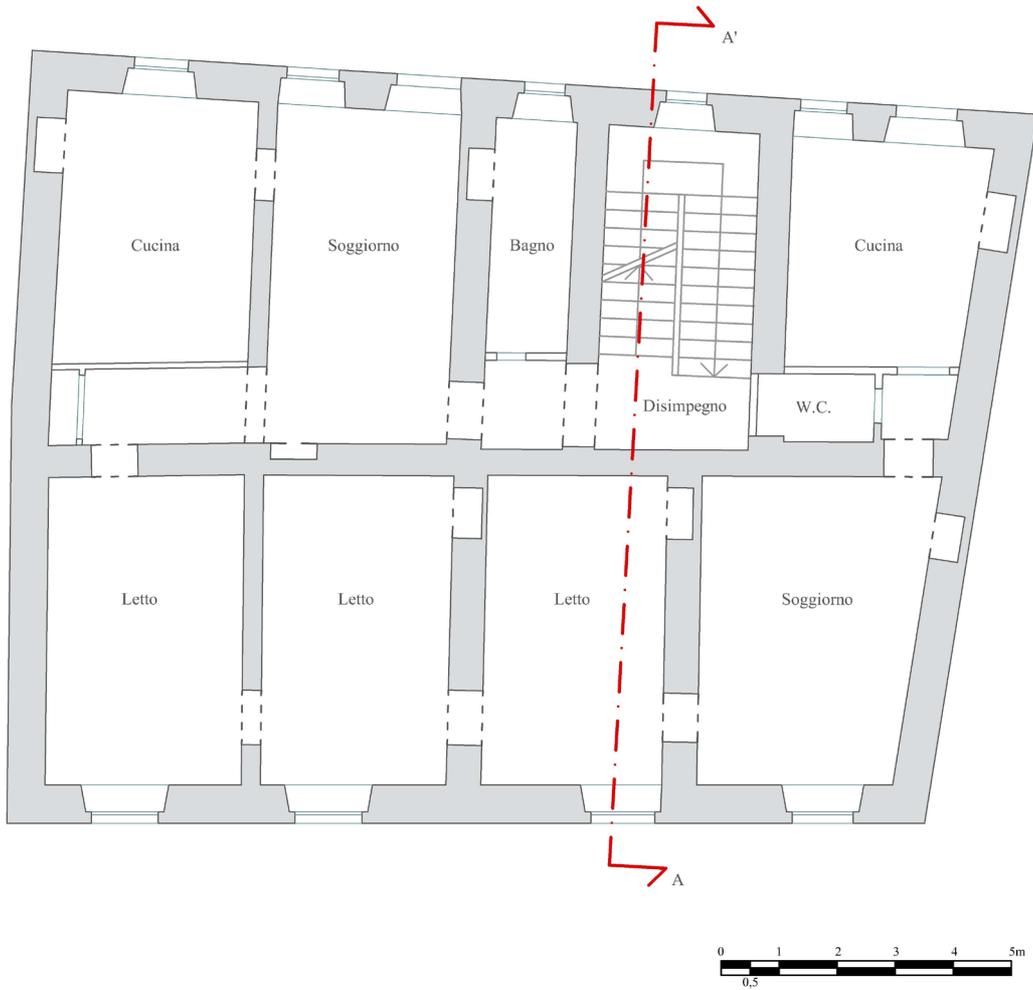
4.2.1 Piante, prospetti e sezioni

4.2.1.1 Piante

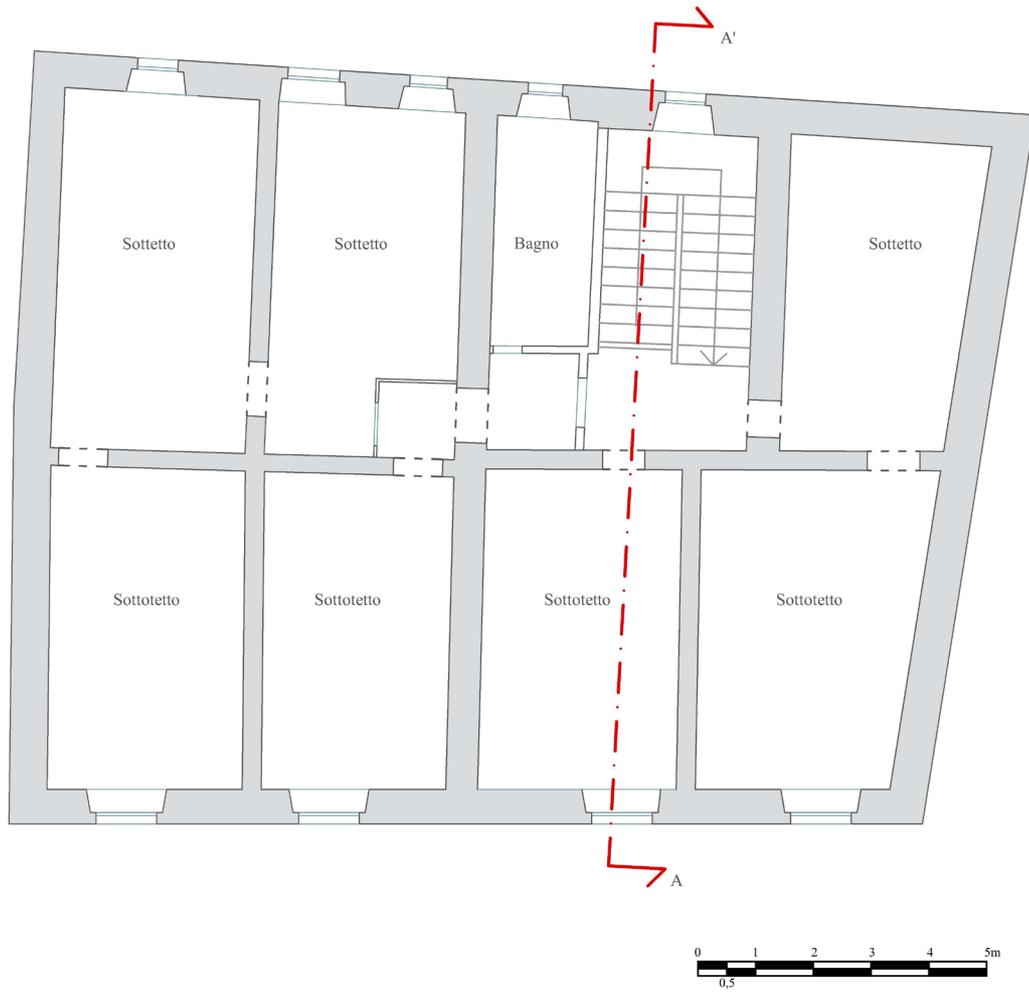
PIANTA PIANO TERRA



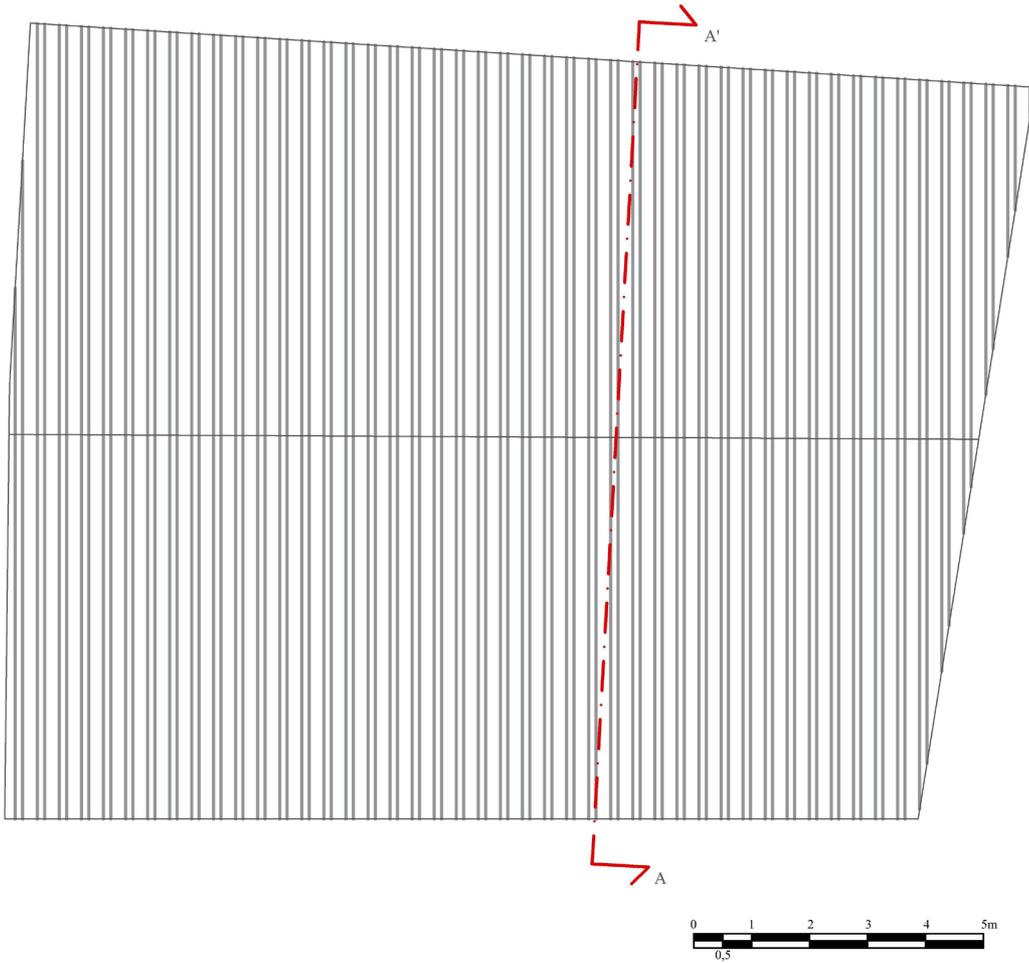
PIANTA PIANO PRIMO



PIANTA PIANO SOTTOTETTO

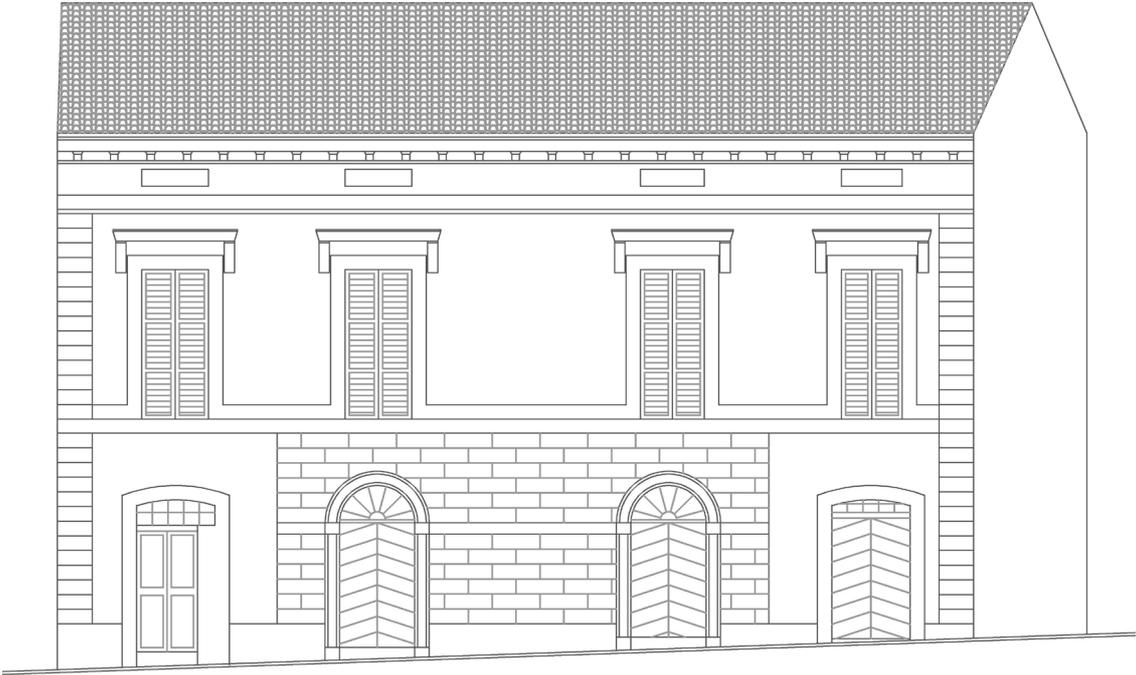


PIANTA DELLA COPERTURA

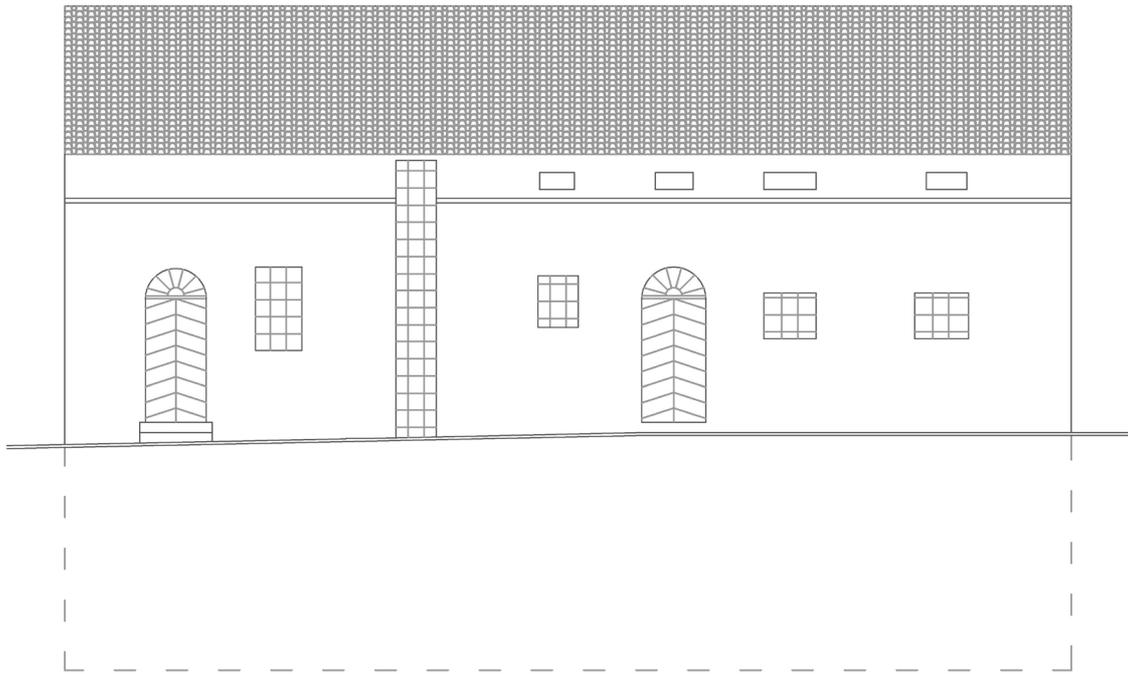


4.2.1.2 Prospetti

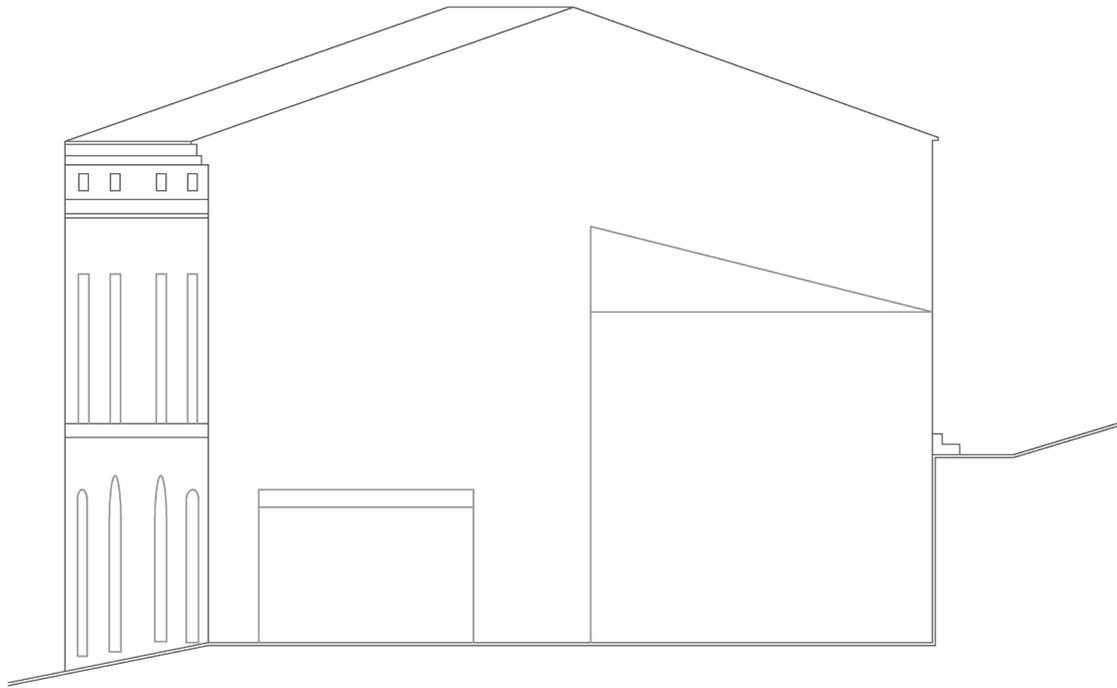
PROSPETTO ANTERIORE



PROSPETTO POSTERIORE

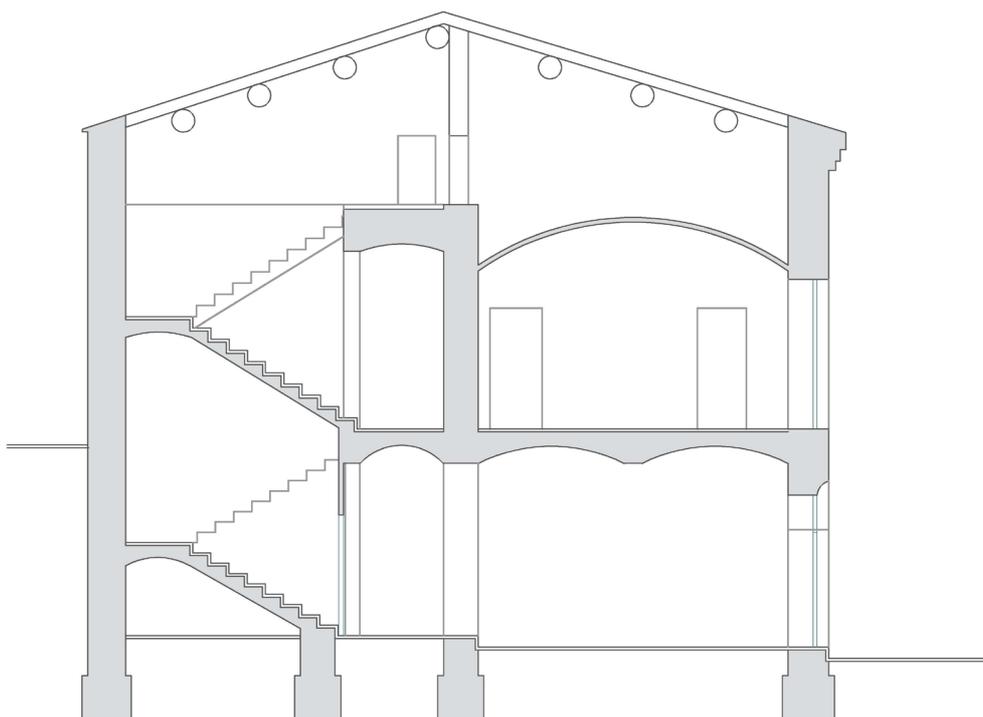


PROSPETTO LATERALE



4.2.1.3 Sezioni

SEZIONE A - A'



4.2.2 Scheda Aedes

NOTE ESPLICATIVE SULLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA Aedes 05/2000

La scheda va compilata per un intero edificio intendendo per edificio una unità strutturale "cielo terra". Individuabile per caratteristiche tipologiche e quindi distinguibile dagli edifici adiacenti per tali caratteristiche e anche per differenza di altezza ed età di costruzione e/o piani sovrastati, etc.

La scheda è divisa in 9 sezioni. Le informazioni sono generalmente definite annettendo le caselle corrispondenti. In alcune sezioni la presenza di caselle quadrate (Q) indicano la possibilità di multicella in questi casi si possono fornire più indicazioni, le caselle (D) indicano la possibilità di una singola scelta. Dove sono presenti le caselle (L) si deve scrivere in stampatello appoggiando il testo a sinistra ed i numeri a destra.

Sezione 1 - Identificazione edificio.
Indicare i dati di localizzazione Provincia, Comune e Frazione.
IDENTIFICATIVO SCHEDE: il rilevatore riporta il proprio numero assegnato dal coordinamento centrale, un numero progressivo di scheda e la data del sopralluogo.
IDENTIFICATIVO ESIZIO:
L'organizzazione del rilevamento prevede un Coordinamento Tecnico e la collaborazione dell'ufficio tecnico comunale. Questo ha tra l'altro il compito di assistenza per l'esplicitamento del lavoro del rilevatore e per l'individuazione degli edifici. L'edificio in generale non è pre-individuato ed è quindi compito del rilevatore il suo riconoscimento e la sua identificazione sulla cartografia riportata nello spazio della prima fasciata. Il codice identificativo dell'edificio, costituito dall'insieme dei dati della prima riga nello spazio in grigio, viene poi assegnato, in modo univoco, presso il coordinamento centrale dove il rilevatore, dopo la visita comunicano l'esito del sopralluogo. La numerazione degli aggregati e degli edifici deve essere tenuta aggiornata in una cartografia generale riferita al coordinamento comunale in modo che i rilevatori possano risalire le visite di sopralluogo, che sono richieste in genere su unità immobiliari, all'edificio effettivamente in questione. Per l'identificativo, il n° di carta, i dati catastali è necessario quindi avvalersi della collaborazione del coordinamento comunale. Posizione edificio su l'edificio non è indicato su tutti i fogli. Va indicata in una posizione all'interno dell'aggregato (Interno, d'estremità, angolo). **Denominazione edificio o proprietario:** indicare la denominazione se edificio pubblico o il nome del condominio o di uno dei proprietari se privato (es.: Condominio Verde, Rossi Mario).

Sezione 2 - Descrizione edificio.
N° piani totali con interrato: indicare il numero di piani complessivi dell'edificio dallo scorcio di fondazione escluso quello di sottotetto se non utilizzato a mansarda. Computare interali e piani mediatamente interali (altezza che meglio approssima la media delle altezze di piano presenti). **Superficie media di piano:** va indicato l'intervallo che comprende la media delle superfici di tutti i piani. (Ea (2) assai): è possibile fornire indicazioni: la prima è sempre fatta di costruzione, la seconda è l'eventuale anno in cui si sono effettuati eventuali interventi sulle strutture. **Usi (multiscelta):** indicare i tipi di uso consentiti nell'edificio. **Utilizzazione:** l'indicazione abbandonato si riferisce al caso di non utilizzato in cattive condizioni.

Sezione 3 - Tipologia (multiscelta 2 opzioni)
Per gli edifici in muratura si possono segnalare le due combinazioni: strutture orizzontali e verticali prevalenti o più vulnerabili; ad esempio volte senza catene e muratura a pietrastrada al 1° livello (2B) e solai rigidi (c.a.) e muratura a pietrastrada al 2° livello (2B). La muratura è divisa in due tipi in ragione della qualità (materiale, legante, realizzazione) e per ognuno è possibile segnalare anche la presenza di cordoli o catene se sono sufficientemente diffusi e anche da rilevare l'eventuale presenza di pilastri isolati, siano essi in c.a., muratura, acciaio o legno ed in presenza di sbalzi non di muratura e strutture intagliate. Gli edifici a cordone sono strutture intagliate di c.a. o d'acciaio a traliccio a traliccio struttura portante e in c.a. o in acciaio. Situazioni miste (muratura-traliccio) vanno indicate, con modalità multiscelta, nelle colonne G ed H della parte "muratura".
G1: c.a. (o altre strutture intagliate) su muratura
G2: muratura su c.a. (o altre strutture intagliate)
G3: muratura mista a c.a. (o altre strutture intagliate) in parallelo sugli stessi piani

Sezione 4 - Danni ad ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti

Livello - estensione	DANNI (D)						PROVVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI											
	D4-D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17					
Componente strutturale - Danno pressoché																		
1 Strutture verticali																		
2 Solai																		
3 Scale																		
4 Copertura																		
5 Temperature-tramezzi																		
6 Danno pressoché																		

(*) - Di ogni livello di danno indicare l'estensione solo se esso è presente. Se l'edificio indicato nella riga non è danneggiato compilare Nulla.

Sezione 5 - Danni ad ELEMENTI NON STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento eseguiti

Tipo di danno	PRESENZA DANNO					PROVVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1 Distanza intonaci, rivestimenti, controsoffitti...											
2 Caduta tegole, cornici...											
3 Caduta cornicioni, parapetti...											
4 Caduta altri oggetti interni e esterni											
5 Danno alla rete elettrica, fognaria o termoidraulica											
6 Danno alla rete elettrica o del gas											

Sezione 6 - Pericolo ESTERNO indotto da altre costruzioni e provvedimenti di p.i. eseguiti

Causa potenziale	PERICOLO SU		PROVVEDIM. DI P.I. ESEGUITI	
	A	B	C	D
1 Crolli o cadute di altre costruzioni				
2 Rischio di rete di distribuzione				

Sezione 7 - Terreno e fondazioni

MORFOLOGIA DEL SITO
 1 Orizz. 2 Pendo forte 3 Pendo leggero 4 Piano

DISSESTI (in atto o temibili): Versanti incombenti Terreno di fondazione

SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA (Aedes 05/2000) Codice Rubrica _____

SEZIONE 1 Identificazione edificio
 Provincia: PESCARA
 Comune: CATIGNANO
 Frazione/Località: _____
 1 Via DEBEGGIALEGRUCIOLI
 2 Corso _____
 3 Vicolo _____
 4 Piazza _____
 5 Altro _____
 Indirizzo: _____
 Posizione edificio: 1 Isolato 2 Interno 3 D'estremità 4 D'angolo

IDENTIFICATIVO SOPRALLUOGO
 Squadra: _____ Schede n. _____ Data _____
 IDENTIFICATIVO EDIFICIO
 Istat Reg. _____ Istat Prov. _____ Istat Comune _____ N° aggregato _____ N° edificio _____
 Cod. di Località Istat _____ Tipo carta _____
 Sez. di censimento Istat _____ N° carta _____
 Dati Catastali Foglio 1414 Allegato _____
 Particelle _____
 Denominazione edificio o proprietario _____
 Codice Uso _____

Fotocopia dell'aggregato strutturale con identificazione dell'edificio

SEZIONE 2 Descrizione edificio

N° Piani totali con interrato	Dati metrici		Età	Costruzione e ristrutturazione (max. 2)	Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione	Occupanti
	Altezza media di piano (m)	Superficie media di piano (m²)						
01	0 <= 2,50	A <= 50	I	0 <= 1919	A Abitativo	1	A >= 65%	100 10 1
02	2,50 <= 3,50	B 50 > 70	L	0 <= 19 < 45	B Produttivo	1	B >= 30-65%	2 2 2
03	3,50 <= 5,0	C 70 > 100	M	0 <= 46 < 61	C Uffici	1	C <= 30%	3 3 3
04	5,0 <= 6,0	D 100 > 130	N	0 <= 62 < 71	D Serv. Pub.	1	D Non utiliz.	4 4 4
05	> 6,0	E 130 > 170	O	0 <= 72 < 81	E Deposito	1	E Non utiliz.	5 5 5
06	Piani interali	F 170 > 230	P	0 <= 82 < 91	F Strategico	1	F Non finito	6 6 6
07	0 <= 0 < 2	G 230 <= 300	Q	0 <= 92 < 101	G Turistico	1	G Abbandon.	7 7 7
08	0 <= 1 <= 25	H 300 <= 400	R	> 2002	H	1	Proprietà A Pubblica B Privata	8 8 8

SEZIONE 8 Giudizio di agibilità

Valutazione del rischio: BASSO, BASSO CON PROVVEDIMENTI, ALTO

Esito di agibilità: A Edificio AGIBILE, B Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (Basso o parzialmente AGIBILE con provvedimenti di pronto intervento (P.I.)), C Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (1), D Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento, E Edificio INAGIBILE, F Edificio INAGIBILE per rischio esterno (1)

(1) riportare nella colonna argomento della Sez. 9 l'esito e nelle annotazioni le parti di edificio inagibili (es. B, C) e le cause di rischio esterno (es. F)

Sull'accuratezza della visita: 1 Solo dall'esterno 2 Parziale 3 Completa (2/3)

Provvedimenti di pronto intervento di rapida realizzazione, limitati (*) o estesi (**)

	* ** PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI	* ** PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI
1	Messa in opera di reti di sicurezza o tiranti	Rimozione di cornicioni, parapetti, oggetti
2	Riparazioni danni leggeri alle lamponature e tramezzi	Rimozione di altri oggetti interni o esterni
3	Riparazioni copertura	Trasversature e proiezione passaggi
4	Purtellatura di scale	Riparazioni delle reti degli impianti
5	Rimozione di intonaci, rivestimenti, controsoffitti	
6	Rimozione di tegole, cornicioni, parapetti	

Unità immobiliari inagibili, famiglie e persone evacuate
 Unità immobiliari inagibili _____ Nuclei familiari evacuati _____ N° persone evacuate _____

SEZIONE 9 Altre osservazioni
 Sul danno, sui provvedimenti di pronto intervento, l'agibilità o altro.
 Argomento: _____ Annotazioni: _____
 Il tetto è in legno con travetti ancorati e tavelle spaccate.
 Il compilatore (in stampatello): _____ Firma _____

4.2.3 Report fotografico



4.2.4 Schede GNDT-II

4.2.4.1 Scheda GNDT-II originale

G.N.D.T. - SCHEDE DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)																																																																																																																										
PARAMETRI		Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	SCHEMI-RICHIAMI																																																																																																																						
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	D	<table border="1"> <tr><td>Norme nuove costruzioni</td><td>(Classe A)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Norme riparazioni</td><td>(Classe A)</td><td>2</td></tr> <tr><td>Cordoli e catene tutti i livelli</td><td>(Classe B)</td><td>3</td></tr> <tr><td>Buoni ammassamenti fra muri</td><td>(Classe C)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Senza cordoli cattivi ammassamenti</td><td>(Classe D)</td><td>5</td></tr> </table>	Norme nuove costruzioni	(Classe A)	1	Norme riparazioni	(Classe A)	2	Cordoli e catene tutti i livelli	(Classe B)	3	Buoni ammassamenti fra muri	(Classe C)	4	Senza cordoli cattivi ammassamenti	(Classe D)	5	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali t_x (U/mq) Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 20.5 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 Coeff.ii: $a_0 = A/At$ 0.1 $Y = B/A$ 1.3 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm} / At + ps = 2.0$ $C = \frac{a_0 \tau k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a_0 \tau k (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0.4$ 0.31																																																																																																							
Norme nuove costruzioni	(Classe A)	1																																																																																																																								
Norme riparazioni	(Classe A)	2																																																																																																																								
Cordoli e catene tutti i livelli	(Classe B)	3																																																																																																																								
Buoni ammassamenti fra muri	(Classe C)	4																																																																																																																								
Senza cordoli cattivi ammassamenti	(Classe D)	5																																																																																																																								
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	(vedi manuale) ...																																																																																																																							
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	<table border="1"> <tr><td>Numero di piani N</td><td>2</td></tr> <tr><td>Area totale coperta At (mq)</td><td>221</td></tr> <tr><td>Area Ax (mq)</td><td>20.5</td></tr> <tr><td>Area Ay (mq)</td><td>26.8</td></tr> <tr><td>t_k (U/mq)</td><td>2</td></tr> <tr><td>Altezza media interpiano h (m)</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>Peso Specifico Pareti pm (t/mc)</td><td>2.2</td></tr> <tr><td>Carico permanente solai ps (t/mq)</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>Pendenza percentuale del terreno</td><td>20</td></tr> <tr><td>Roccia</td><td>Fondazioni:</td><td>Si</td><td>1</td><td>No</td><td>2</td></tr> <tr><td>Terr. Sciolto non sping.</td><td>Fondazioni:</td><td>Si</td><td>3</td><td>No</td><td>4</td></tr> <tr><td>Terr. Sciolto sping.</td><td>Fondazioni:</td><td>Si</td><td>5</td><td>No</td><td>6</td></tr> <tr><td>Differenza massima di quota Ah (m)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>Piani sfalsati</td><td>Si</td><td>1</td><td>No</td><td>2</td></tr> <tr><td>Orizzontamenti rigidi e ben collegati</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>Orizzontamenti deformabili e ben collegati</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>Orizzontamenti rigidi e mal collegati</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr> <tr><td>Orizzontamenti deformabili e mal collegati</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>% Orizzontamenti rigidi e ben collegati</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>10</td></tr> <tr><td>Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.78</td></tr> <tr><td>Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% aumento (+) o diminuzione (-) di massa</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Rapporto percentuale T/H</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Percentuale superficie porticata</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Piano terra porticato</td><td>Si</td><td>1</td><td>No</td><td>2</td></tr> <tr><td>Rapporto massimi l/s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>9.7</td></tr> </table>	Numero di piani N	2	Area totale coperta At (mq)	221	Area Ax (mq)	20.5	Area Ay (mq)	26.8	t_k (U/mq)	2	Altezza media interpiano h (m)	3.5	Peso Specifico Pareti pm (t/mc)	2.2	Carico permanente solai ps (t/mq)		0.4	Pendenza percentuale del terreno	20	Roccia	Fondazioni:	Si	1	No	2	Terr. Sciolto non sping.	Fondazioni:	Si	3	No	4	Terr. Sciolto sping.	Fondazioni:	Si	5	No	6	Differenza massima di quota Ah (m)					0	Piani sfalsati	Si	1	No	2	Orizzontamenti rigidi e ben collegati					1	Orizzontamenti deformabili e ben collegati					2	Orizzontamenti rigidi e mal collegati					3	Orizzontamenti deformabili e mal collegati					4	% Orizzontamenti rigidi e ben collegati					10	Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$					0.78	Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$						% aumento (+) o diminuzione (-) di massa						Rapporto percentuale T/H						Percentuale superficie porticata						Piano terra porticato	Si	1	No	2	Rapporto massimi l/s					9.7
Numero di piani N	2																																																																																																																									
Area totale coperta At (mq)	221																																																																																																																									
Area Ax (mq)	20.5																																																																																																																									
Area Ay (mq)	26.8																																																																																																																									
t_k (U/mq)	2																																																																																																																									
Altezza media interpiano h (m)	3.5																																																																																																																									
Peso Specifico Pareti pm (t/mc)	2.2																																																																																																																									
Carico permanente solai ps (t/mq)	0.4																																																																																																																									
Pendenza percentuale del terreno	20																																																																																																																									
Roccia	Fondazioni:	Si	1	No	2																																																																																																																					
Terr. Sciolto non sping.	Fondazioni:	Si	3	No	4																																																																																																																					
Terr. Sciolto sping.	Fondazioni:	Si	5	No	6																																																																																																																					
Differenza massima di quota Ah (m)					0																																																																																																																					
Piani sfalsati	Si	1	No	2																																																																																																																						
Orizzontamenti rigidi e ben collegati					1																																																																																																																					
Orizzontamenti deformabili e ben collegati					2																																																																																																																					
Orizzontamenti rigidi e mal collegati					3																																																																																																																					
Orizzontamenti deformabili e mal collegati					4																																																																																																																					
% Orizzontamenti rigidi e ben collegati					10																																																																																																																					
Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$					0.78																																																																																																																					
Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$																																																																																																																										
% aumento (+) o diminuzione (-) di massa																																																																																																																										
Rapporto percentuale T/H																																																																																																																										
Percentuale superficie porticata																																																																																																																										
Piano terra porticato	Si	1	No	2																																																																																																																						
Rapporto massimi l/s					9.7																																																																																																																					
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	C																																																																																																																								
5	ORIZZONTAMENTI	D																																																																																																																								
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B																																																																																																																								
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A																																																																																																																								
8	Dmax MURATURE	A																																																																																																																								
9	COPERTURA	C	<table border="1"> <tr><td>Copertura: non spingente</td><td>1</td><td>spingente</td><td>2</td></tr> <tr><td>Cordoli in copertura</td><td>1</td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>Catene in copertura</td><td>2</td><td></td><td>3</td></tr> <tr><td>Carico permanente copertura pc (t/mq)</td><td></td><td></td><td>0.1</td></tr> <tr><td>Lunghezza appoggio copertura ls (m)</td><td></td><td></td><td>5.7</td></tr> <tr><td>Perimetro copertura (m)</td><td></td><td></td><td>59.1</td></tr> </table>	Copertura: non spingente	1	spingente	2	Cordoli in copertura	1		2	Catene in copertura	2		3	Carico permanente copertura pc (t/mq)			0.1	Lunghezza appoggio copertura ls (m)			5.7	Perimetro copertura (m)			59.1																																																																																															
Copertura: non spingente	1	spingente	2																																																																																																																							
Cordoli in copertura	1		2																																																																																																																							
Catene in copertura	2		3																																																																																																																							
Carico permanente copertura pc (t/mq)			0.1																																																																																																																							
Lunghezza appoggio copertura ls (m)			5.7																																																																																																																							
Perimetro copertura (m)			59.1																																																																																																																							
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	(Vedi manuale)																																																																																																																							
11	STATO DI FATTO	B	(Vedi manuale)																																																																																																																							

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	54
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	142.5	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	187.5	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	190.0	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	190.0	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	190.0	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	202.5	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	202.5	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	207.5	

Parametro 7
 $P_7 = 0.5$ se l'irregolarità dell'edificio è data solamente dalla presenza di porticati al piano terra
 $P_7 = 1$ in tutti gli altri casi

Parametro 9
 $P_9 = 0.5 + \alpha_1 + \alpha_2 = 0.5$

$\alpha_1 = 0.25$ per copertura in latero-cemento o comunque di peso maggiore o uguale a 200 kg/m²
 negli altri casi

$\alpha_2 = 0.25$ se il rapporto tra il perimetro della copertura e la lunghezza complessiva delle zone di appoggio è maggiore o uguale a 2
 negli altri casi

Parametro	Punteggi				Peso
	A	B	C	D	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	45	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	1

4.2.4.2 Scheda GNDT-II modificata (classe E)

G.N.D.T. - SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)			
PARAMETRI	Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	SCHEMI-RICHAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	Nuove norme costruzioni (Classe A) 1 Comportamento scottolare garantito (Classe B) 2 Cordoli o catene in copertura (Classe C) 3 Buoni ammortamenti fra muri (Classe D) 4 Senza cordoli cattivi ammortamenti (Classe E) 5	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 20.5 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 Coeff.ti: a0 = A/At 0.1 Y = B/A 1.3 $q = (Ax+Ay) h pm/ At + ps = 2.0$ $C = \frac{a0 tk}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 tk (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0,4 = 0.31$
2	QUALITÀ DEL S.R.	(vedi manuale) ...	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	Numero di piani N 2 Area totale coperta At (mq) 221 Area Ax (mq) 20.5 Area Ay (mq) 26.8 rk (t/mq) 2 Altezza media interpiano h (m) 3.5 Peso Specifico Pareti pm (t/mc) 2.2 Carico permanente solai ps (t/mq) 0.4 Pendenza percentuale del terreno 20	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	Roccia Fondazioni: Si 1 No 2 Terr. Sciolto non sping. Fondazioni: Si 3 No 4 Terr. Sciolto sping. Fondazioni: Si 5 No 6 Differenza massima di quota Ah (m) 0	
5	ORIZZONTAMENTI	Piani sfalsati Si 1 No 2 Orizzontamenti rigidi e ben collegati 1 Orizzontamenti deformabili e ben collegati 2 Orizzontamenti rigidi e mal collegati 3 Orizzontamenti deformabili e mal collegati 4 % Orizzontamenti rigidi e ben collegati 10	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	Rapporto percentuale β1 = a1 0.78 Rapporto percentuale β2 = b1 % aumento (+) o diminuzione (-) di massa Rapporto percentuale T/H Percentuale superficie porticata Piano terra porticato Si 1 No 2	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE		
8	Dmax MURATURE	Rapporto massimi l/s 9.7	
9	COPERTURA	Copertura: non spingente 0 poco spingente 1 spingente 2 Cordoli in copertura Si 1 No 2 Catene in copertura Si 2 No 3 Carico permanente copertura pc (t/mq) 0.1 Lunghezza appoggio copertura h (m) 5.7 Perimetro copertura (m) 59.1	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	(Vedi manuale)	
11	STATO DI FATTO	(Vedi manuale)	

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	54
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	142.5	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	187.5	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	190.0	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	190.0	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	190.0	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	202.5	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	202.5	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	207.5	
1 - Organizzazione del sistema resistente	E	100	1	100.0	100.0	69
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	111.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	178.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	197.5	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	242.5	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	245.0	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	245.0	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	245.0	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	257.5	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	257.5	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	262.5	

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0.25
 a2 = 0

Parametro	A	B	C	D	E	Peso
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	45	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.2.4.3 Scheda GNDT-II modificata (classe D)

PARAMETRI			Classi		ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHAMI	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	D	Nuove norme costruzioni	(Classe A)	1	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 20.5 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 CoefEti: a0 = A/At 0.1 Y = B/A 1.3 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm}' / At + ps = 2.0$ $C = \frac{a0 \cdot tk}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 \cdot tk (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0.4 = 0.31$		
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	Comportamento scottolare garantito	(Classe B)	2			
			Cordoli o catene in copertura	(Classe C)	3			
			Buoni ammortamenti fra muri	(Classe D)	4			
			Senza cordoli cattivi ammortamenti	(Classe E)	5			
			(vedi manuale)		...			
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	Numero di piani N		2			
			Area totale coperta At (mq)		221			
			Area Ax (mq)		20.5			
			Area Ay (mq)		26.8			
			tk (t/mq)		2			
			Altezza media interpiano h (m)		3.5			
			Peso Specifico Pareti pm (t/mc)		2.2			
			Carico permanente solai ps (t/mq)		0.4			
			Pendenza percentuale del terreno		20			
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	C	Roccia Fondazioni: Si 1 No 2					
			Terr. Sciolto non sping. Fondazioni: Si 3 No 4					
			Terr. Sciolto sping. Fondazioni: Si 5 No 6					
			Differenza massima di quota Ah (m)		0			
5	ORIZZONTAMENTI	D	Piani sfalsati Si 1 No 2					
			Orizzontamenti rigidi e ben collegati		1			
			Orizzontamenti deformabili e ben collegati		2			
			Orizzontamenti rigidi e mal collegati		3			
			Orizzontamenti deformabili e mal collegati		4			
			% Orizzontamenti rigidi e ben collegati		10			
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	Rapporto percentuale b1 = a1		0.78			
			Rapporto percentuale b2 = b/1					
			% aumento (+) o diminuzione (-) di massa					
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	Rapporto percentuale TH					
			Percentuale superficie porticata					
			Piano terra porticato Si 1 No 2					
8	Dmax MURATURE	A	Rapporto massimi l/s		9.7			
9	COPERTURA	C	Copertura: non spingente Φ poco spingente 1 spingente 2					
			Cordoli in copertura Si 1 No 2					
			Catene in copertura Si 2 No 3					
			Carico permanente copertura pe (t/mq)		0.1			
			Lunghezza appoggio copertura l (m)		5.7			
			Perimetro copertura (m)		59.1			
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	(Vedi manuale)					
11	STATO DI FATTO	B	(Vedi manuale)					

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	Vpar	Vprog	Vtot
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	54
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	142.5	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	187.5	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	190.0	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	190.0	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	190.0	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	202.5	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	202.5	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	207.5	
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	70	1	70.0	70.0	61
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	81.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	148.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	167.5	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	212.5	
6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	215.0	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	215.0	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	215.0	
9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	227.5	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	227.5	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	232.5	

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0
 a2 = 0

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.2.4.4 Scheda GNDT-II modificata (classe C)

PARAMETRI			Classi		ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHAMI	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	C	Nuove norme costruzioni (Classe A)	1	Comportamento sceltolare garantito (Classe B)		2	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 20.5 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 Coeff.ti: $a_0 = A/At$ 0.1 $Y = B/A$ 1.3 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm}' / At + ps = 2.0$ $C = \frac{a_0 \tau k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a_0 \tau k (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0.4 = 0.31$ Parametro 6: Configurazione planimetrica Parametro 7: Configurazione in elevazione Parametro 9: Copertura
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	Cordoli o catene in copertura (Classe C)	3	Buoni ammassamenti fra muri (Classe D)	4		
			Senza cordoli cattivi ammassamenti (Classe E)	5	(vedi manuale)		...	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	Numero di piani N	2	Area totale coperta At (mq)	221		
			Area Ax (mq)	20.5	Area Ay (mq)	26.8		
			rk (t/mq)	2	Altezza media interpiano h (m)	3.5		
			Peso Specifico Pareti pm (t/mc)	2.2	Carico permanente solai ps (t/mq)	0.4		
			Pendenza percentuale del terreno	20	Piani sfalsati		0	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	C	Roccia Fondazioni: Si 1 No 2		Terr. Sciolto non sping. Fondazioni: Si 3 No 4			
			Terr. Sciolto sping. Fondazioni: Si 5 No 6		Differenza massima di quota Ah (m)		0	
5	ORIZZONTAMENTI	D	Orizzontamenti rigidi e ben collegati	1	Orizzontamenti rigidi e mal collegati	2		
			Orizzontamenti deformabili e ben collegati	3	Orizzontamenti deformabili e mal collegati	4		
			% Orizzontamenti rigidi e ben collegati	10	Rapporto percentuale B1 = a1		0.78	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	Rapporto percentuale B2 = b1		% aumento (+) o diminuzione (-) di massa			
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	Rapporto percentuale T/H		Percentuale superficie porticata			
			Piano terra porticato	Si 1 No 2	Rapporto massimi l/s		9.7	
8	Dmax MURATURE	A	Copertura: non spingente Φ poco spingente 1 spingente 2		Cordoli in copertura	Si 1 No 2		
			Catene in copertura	Si 2 No 3	Carico permanente copertura pc (t/mq)		0.1	
			Carico permanente copertura pc (t/mq)		Lunghezza appoggio copertura l (m)		5.7	
			Perimetro copertura (m)		Perimetro copertura (m)		59.1	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	(Vedi manuale)					
11	STATO DI FATTO	B	(Vedi manuale)					

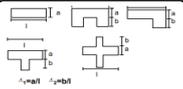
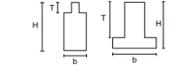
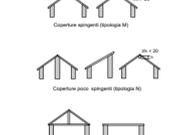
INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
O 1 - Organizzazione del sistema resistente	C	25	1	25.0	25.0	49
R 2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	36.3	
I 3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	103.8	
G 4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	122.5	
I 5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	167.5	
F 6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	170.0	
N 7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	170.0	
A 8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	170.0	
L 9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	182.5	
E 10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	182.5	
O 11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	187.5	
M 1 - Organizzazione del sistema resistente	C	25	1	25.0	25.0	49
O 2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	36.3	
D 3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	103.8	
I 4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	122.5	
D 5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	167.5	
F 6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	170.0	
I 7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	170.0	
C 8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	170.0	
A 9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	182.5	
T 10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	182.5	
O 11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	187.5	

Parametro 7 $P_7 = 0.5$
 $P_7 = 1$
 Parametro 9 $P_9 = 0.5 + a_1 + a_2 = 0.5$
 $a_1 = 0$
 $a_2 = 0$

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.2.4.5 Scheda GNDT-II modificata (classe B)

G.N.D.T. - SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)			
PARAMETRI	Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	SCHEMI-RICHIAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	B	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 26.8 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 20.5 Coeff.Lit: a0 = A/A1 0.1 Y = B/A 0.8 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm}^2 / At + ps = 2.0$ $C = \frac{a0 \tau k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 \tau k (1+Y)}} = 0.4$ $\alpha = C/0.4 = 1.12$ Parametro 6: Configurazione planimetrica  Parametro 7: Configurazione in elevazione  Parametro 9: Copertura 
2	QUALITÀ DEL S.R.	B	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	A	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	C	
5	ORIZZONTAMENTI	A	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	B	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	
8	Dmax MURATURE	A	
9	COPERTURA	C	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	
11	STATO DI FATTO	B	

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
O	1 - Organizzazione del sistema resistente	B	5	1	5.0	5.0
R	2 - Qualità del sistema resistente	B	5	0.25	1.3	6.3
R	3 - Resistenza convenzionale	A	0	1.5	0.0	6.3
I	4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	25.0
G	5 - Orizzontamenti	A	0	1	0.0	25.0
I	6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	27.5
N	7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	27.5
A	8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	27.5
L	9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	40.0
E	10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	40.0
O	11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	45.0
1 - Organizzazione del sistema resistente						
M	2 - Qualità del sistema resistente	B	5	0.25	1.3	6.3
O	3 - Resistenza convenzionale	A	0	1.5	0.0	6.3
D	4 - Posizione edificio e fondazione	C	25	0.75	18.8	25.0
I	5 - Orizzontamenti	A	0	1	0.0	25.0
F	6 - Configurazione planimetrica	B	5	0.5	2.5	27.5
I	7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	27.5
C	8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	27.5
A	9 - Copertura	C	25	0.5	12.5	40.0
T	10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	40.0
O	11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	45.0

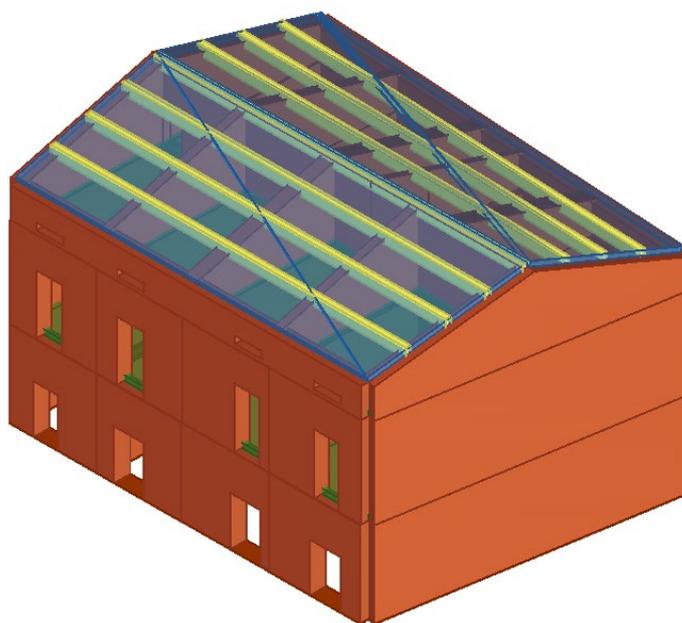
Parametro 7: $P_7 = 0.5$
 $P_7 = 1$

Parametro 9: $P_9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5$
 $a1 = 0$
 $a2 = 0$

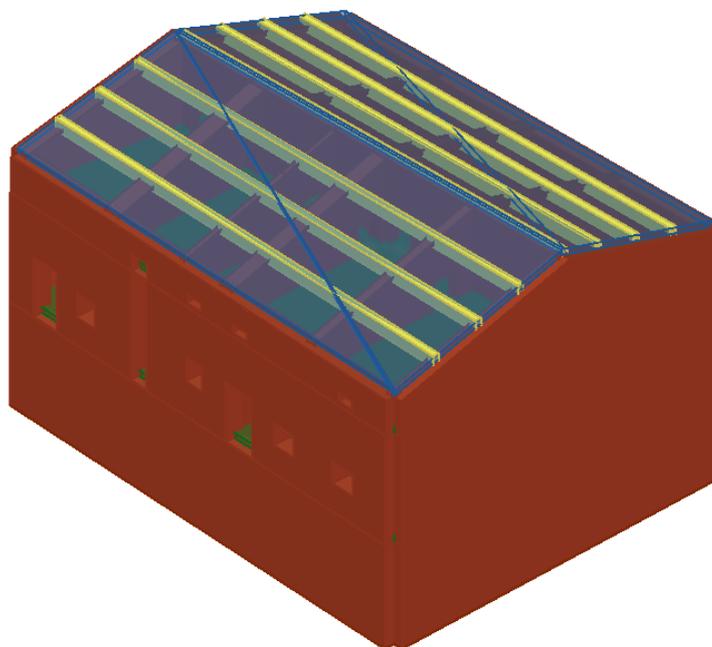
Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.2.5 Modello di calcolo in 3muri

Vista Anteriore



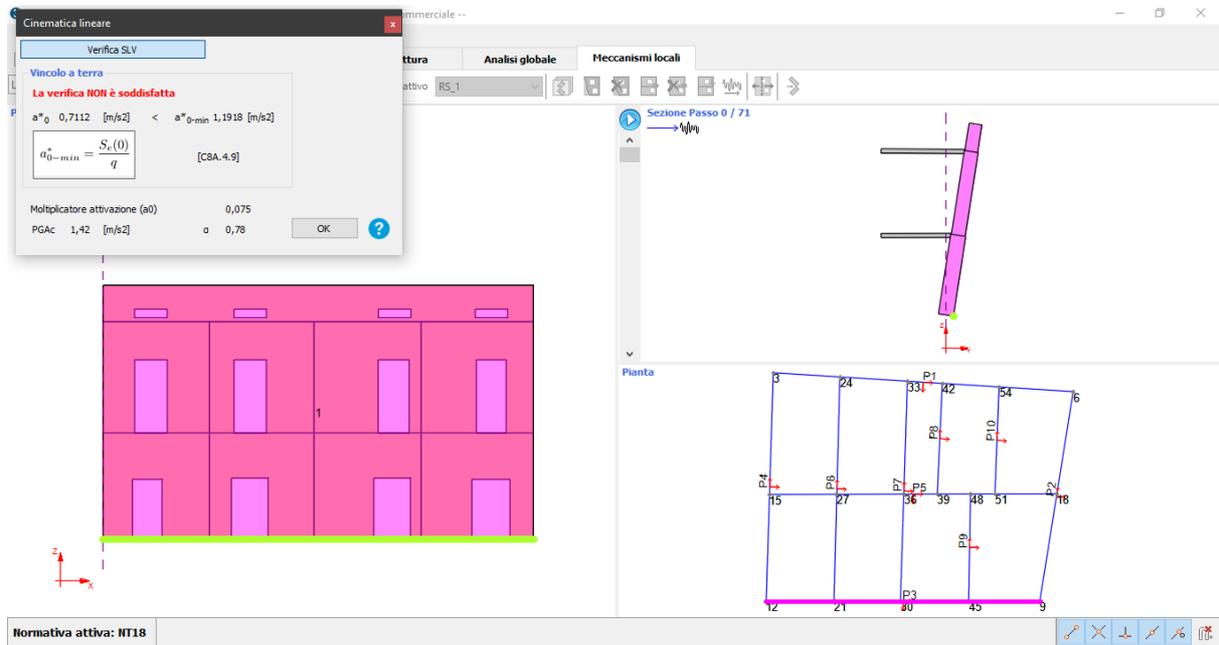
Vista Posteriore



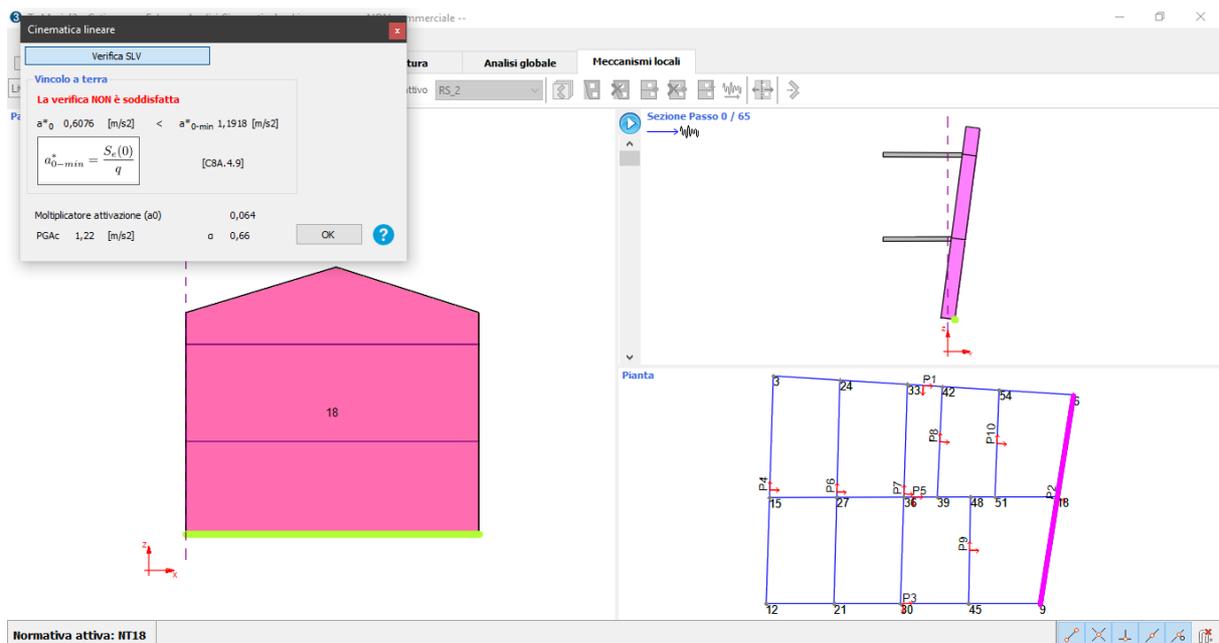
4.2.6 Risultati analisi cinematica lineare

4.2.6.1 Ribaltamento semplice

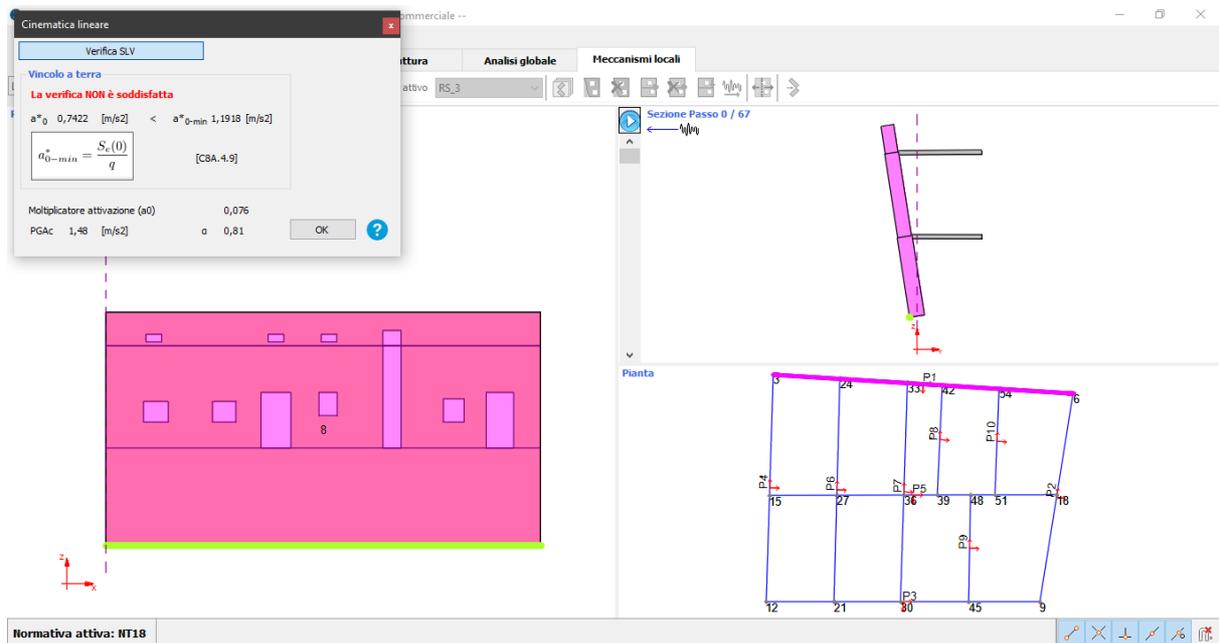
Parete 1



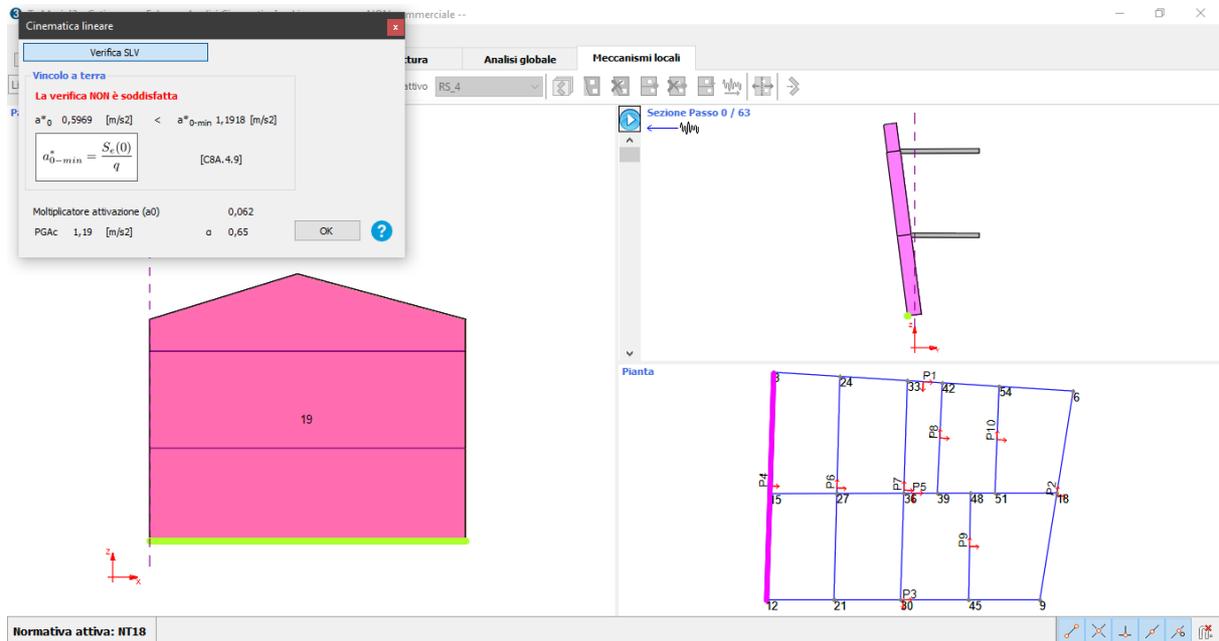
Parete 2



Parete 3

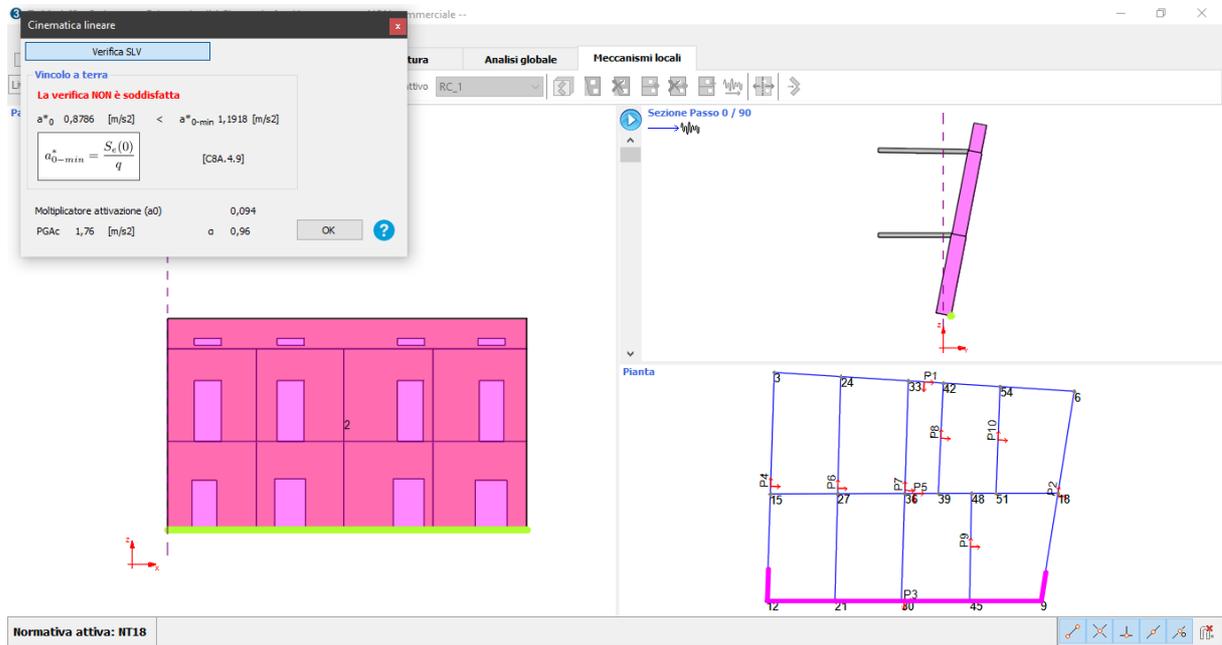


Parete 4

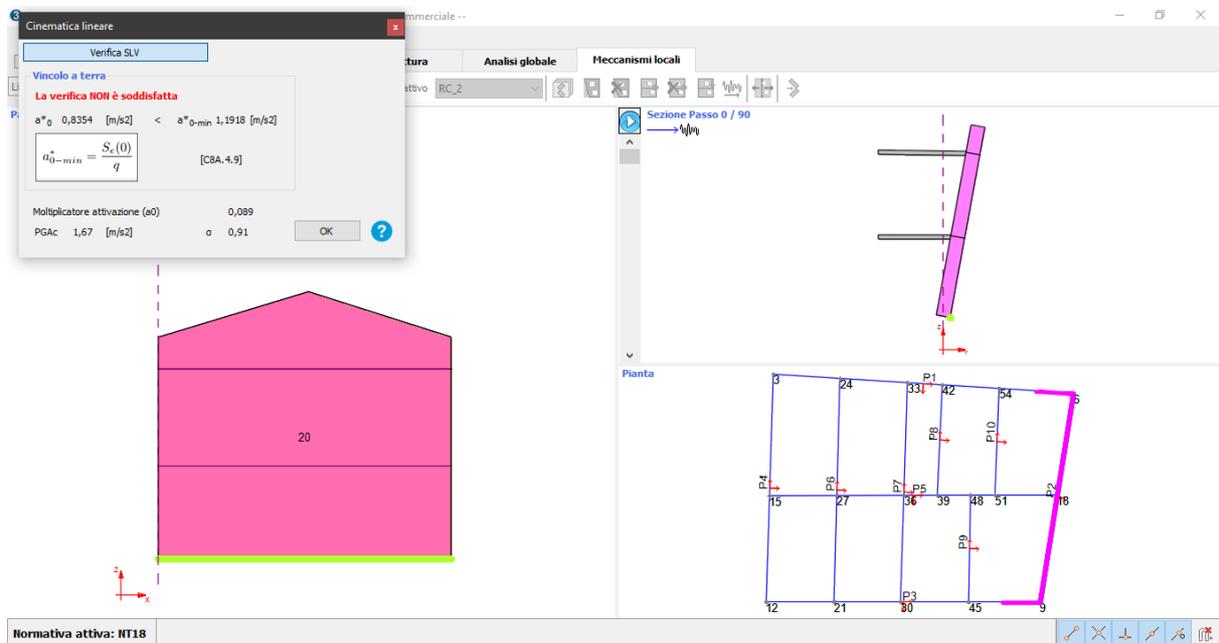


4.2.6.2 Ribaltamento composto

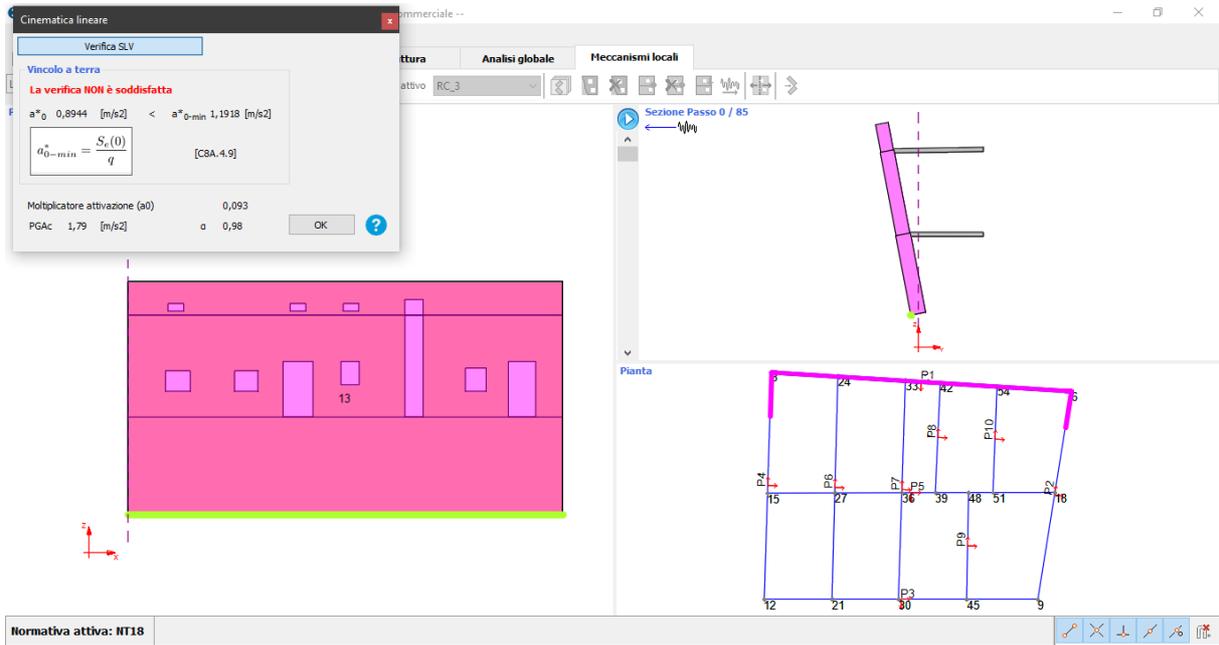
Parete 1



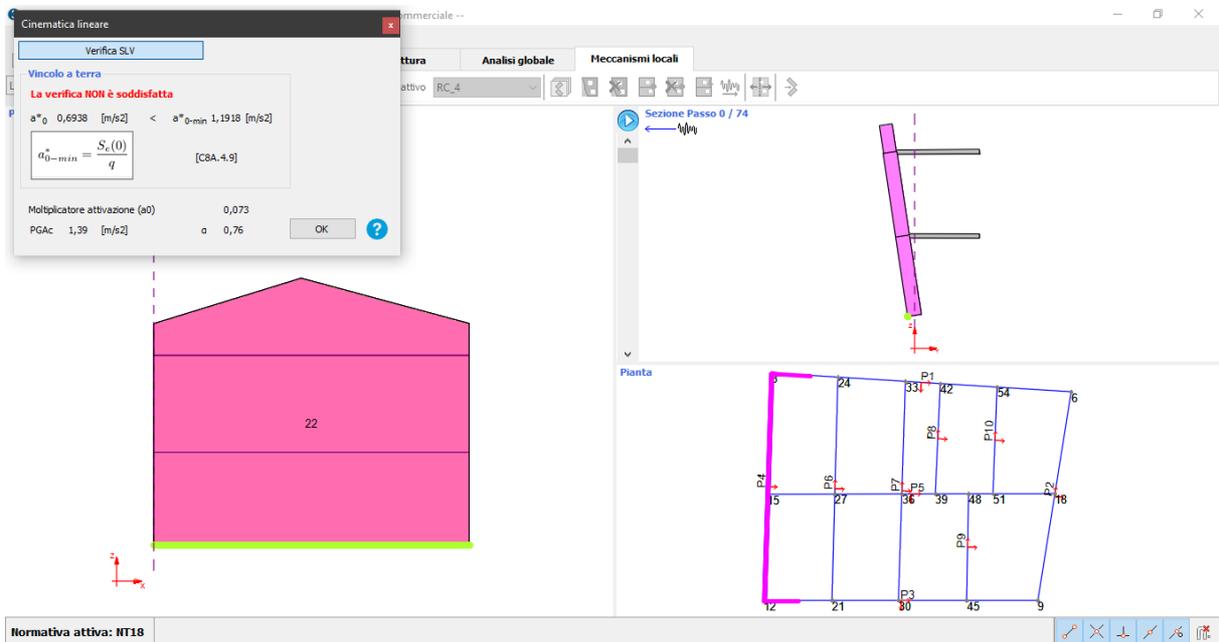
Parete 2



Parete 3

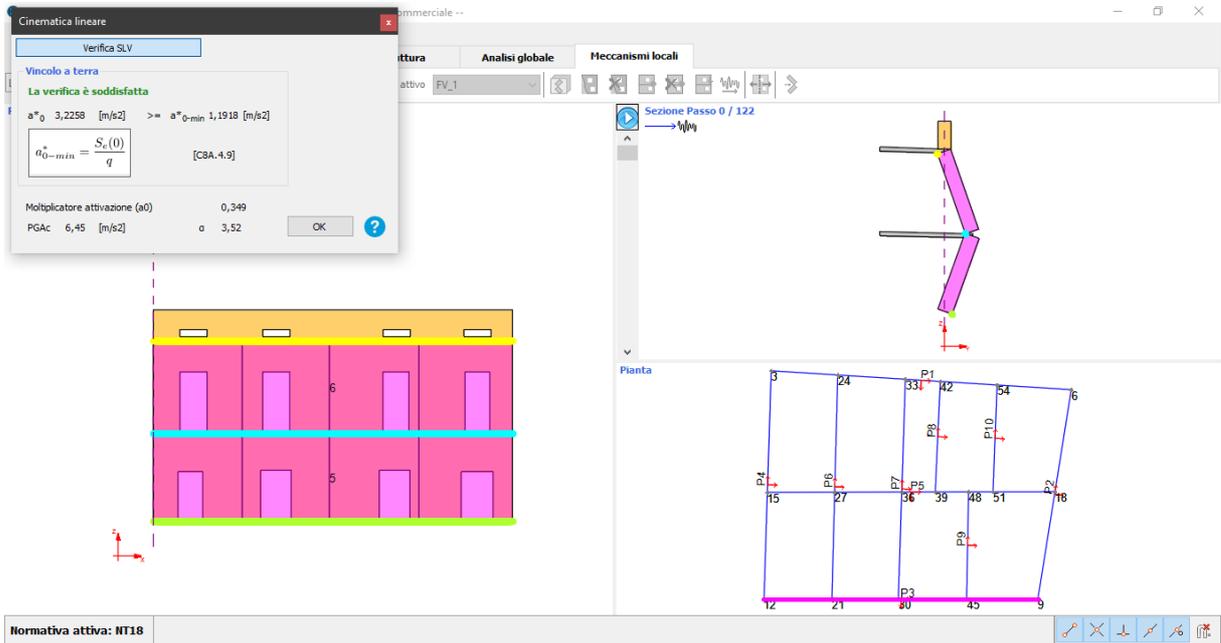


Parete 4

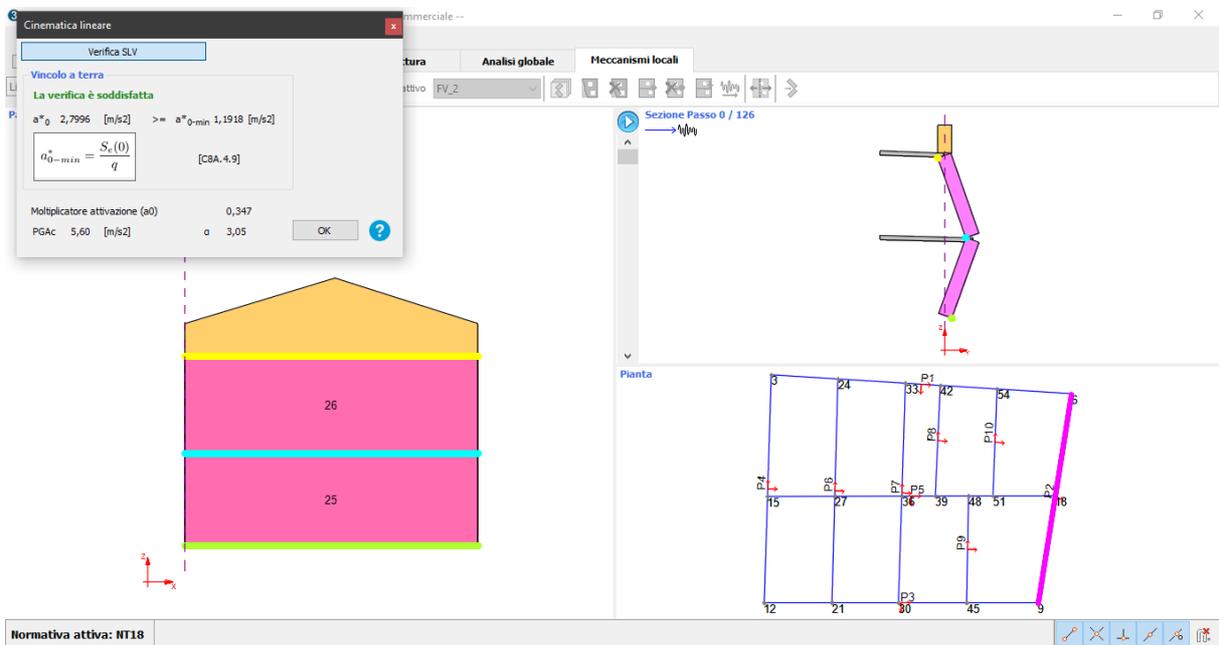


4.2.6.3 Flessione verticale

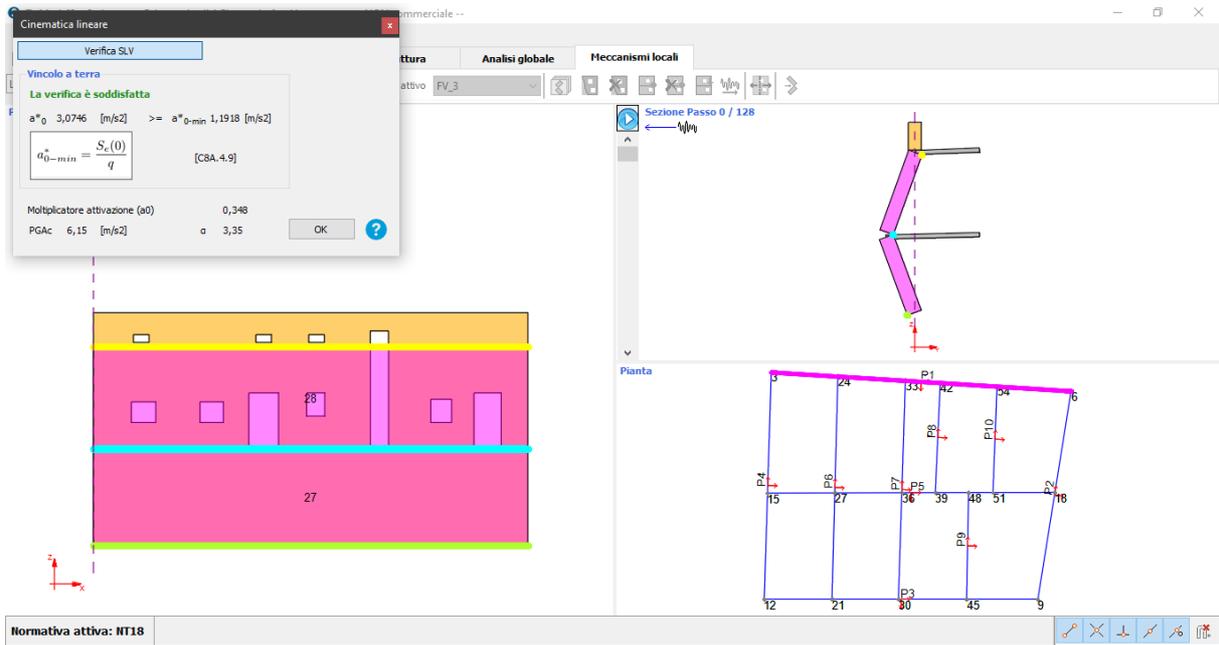
Parete 1



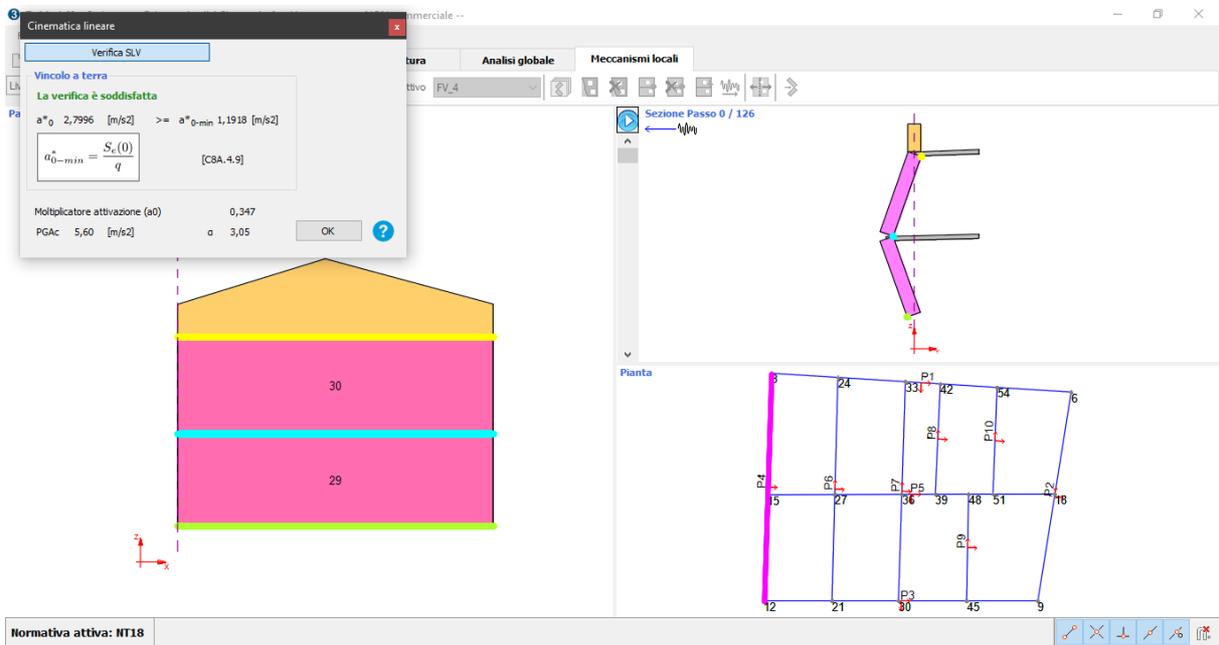
Parete 2



Parete 3



Parete 4



4.2.6.4 Riepilogo risultati

Ribatamento Semplice - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s^2)	a^* (0-min) (m/s^2)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	0.71	1.19	out	0.071	0.04	1.65	6.1	4 = 5
2	0.61	1.19	out	0.061				
3	0.74	1.19	out	0.074				
4	0.6	1.19	out	0.06				

Ribatamento Composto - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s^2)	a^* (0-min) (m/s^2)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	0.88	1.19	out	0.088	0.04	1.65	6.6	4 = 5
2	0.83	1.19	out	0.083				
3	0.89	1.19	out	0.089				
4	0.69	1.19	out	0.069				

Flessione Verticale - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s^2)	a^* (0-min) (m/s^2)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	3.22	1.19	in	0.322	0.04	1.65	9.2	4 = 5
2	2.79	1.19	in	0.279				
3	3.07	1.19	in	0.307				
4	2.79	1.19	in	0.279				

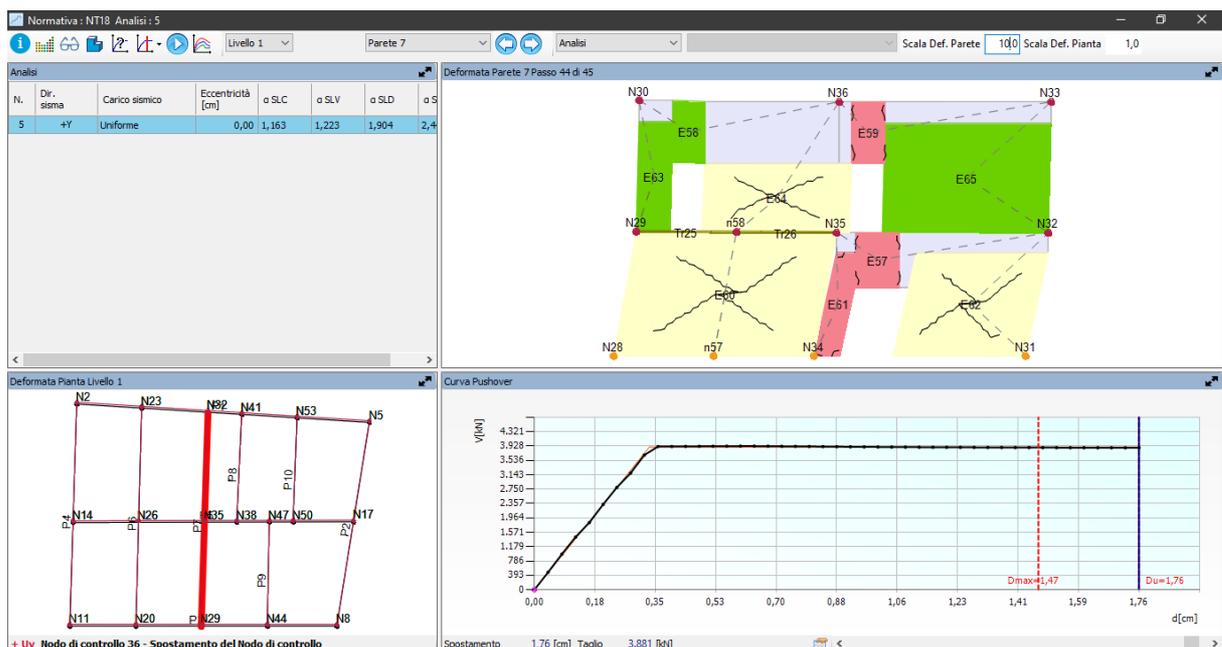
4.2.7 Analisi statica non lineare

Sono state effettuate diverse analisi statiche non lineare, una per ogni tipo di rinforzo studiato ed una per ogni combinazione tra rinforzi.

4.2.7.1 Solaio rigido



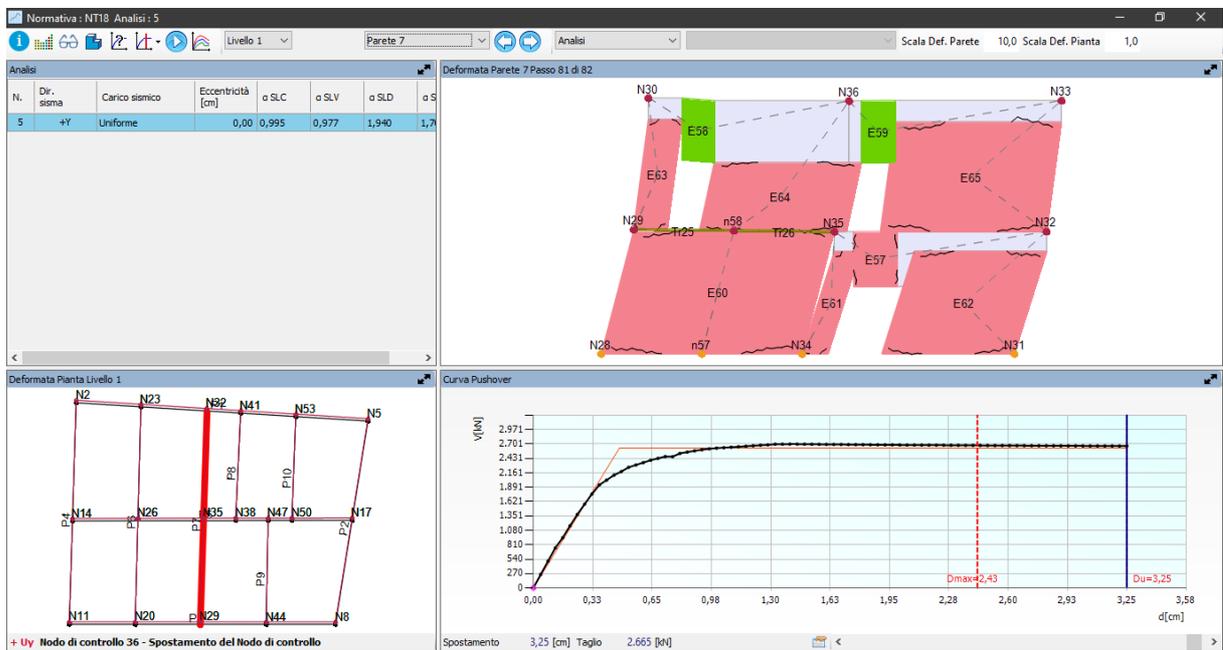
4.2.7.2 Solaio rigido e iniezioni di malta



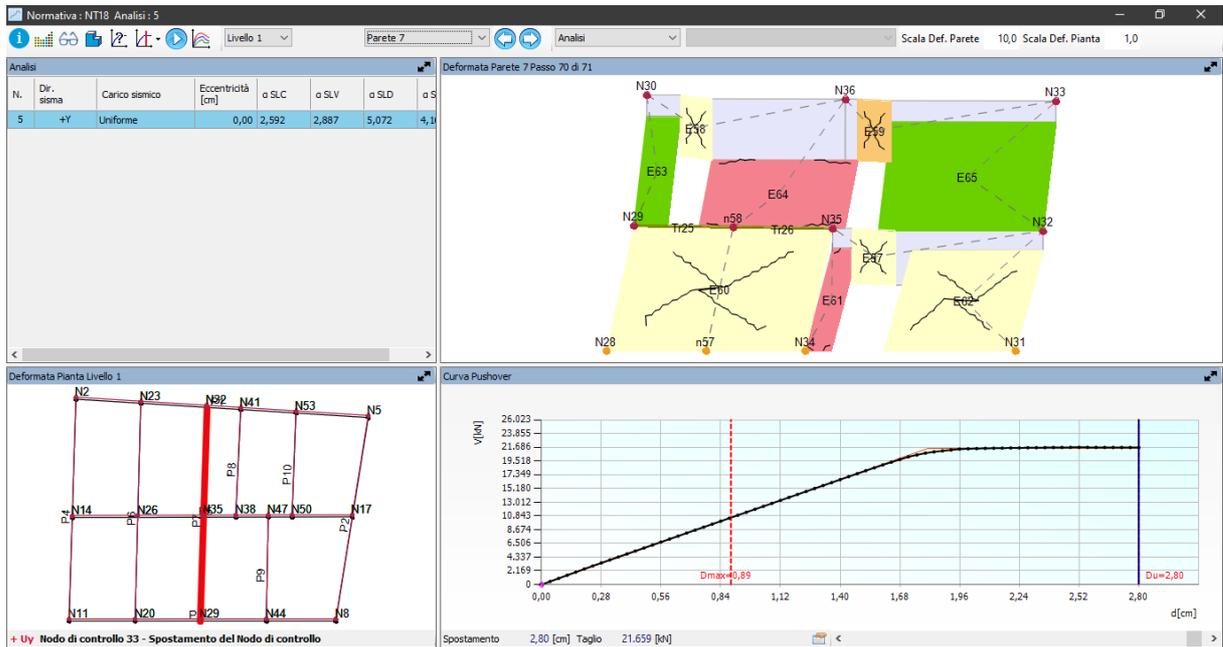
4.2.7.3 Solaio rigido e intonaco armato (rete elettrosaldata)



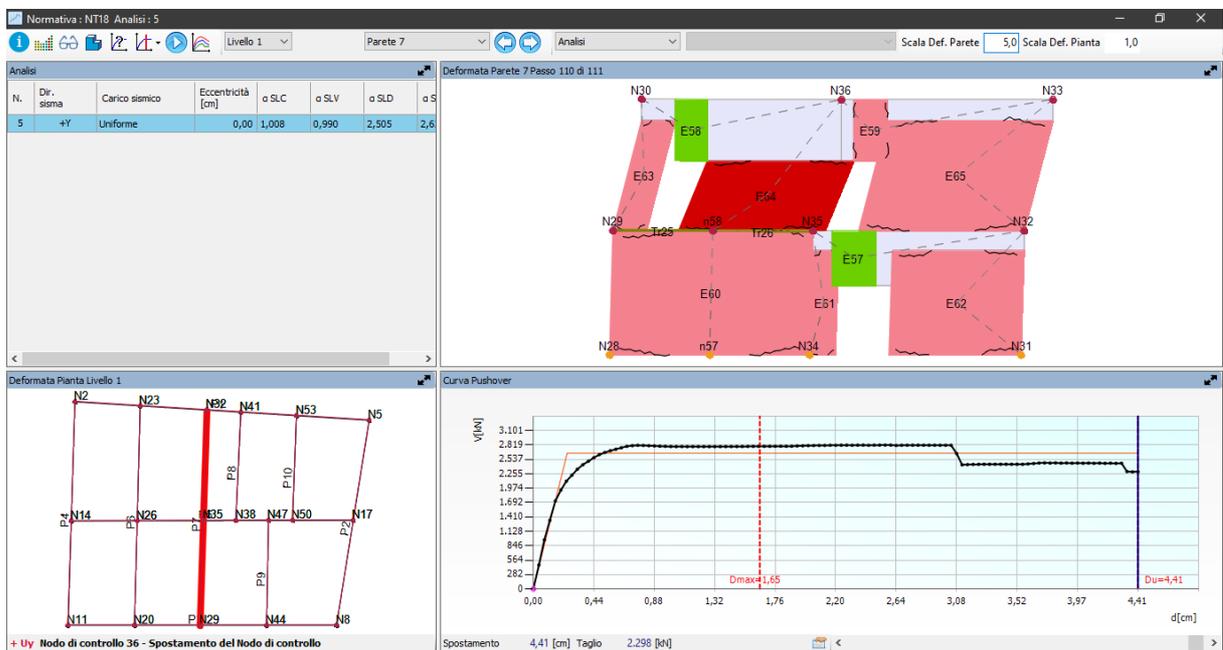
4.2.7.4 Solaio rigido e FRP



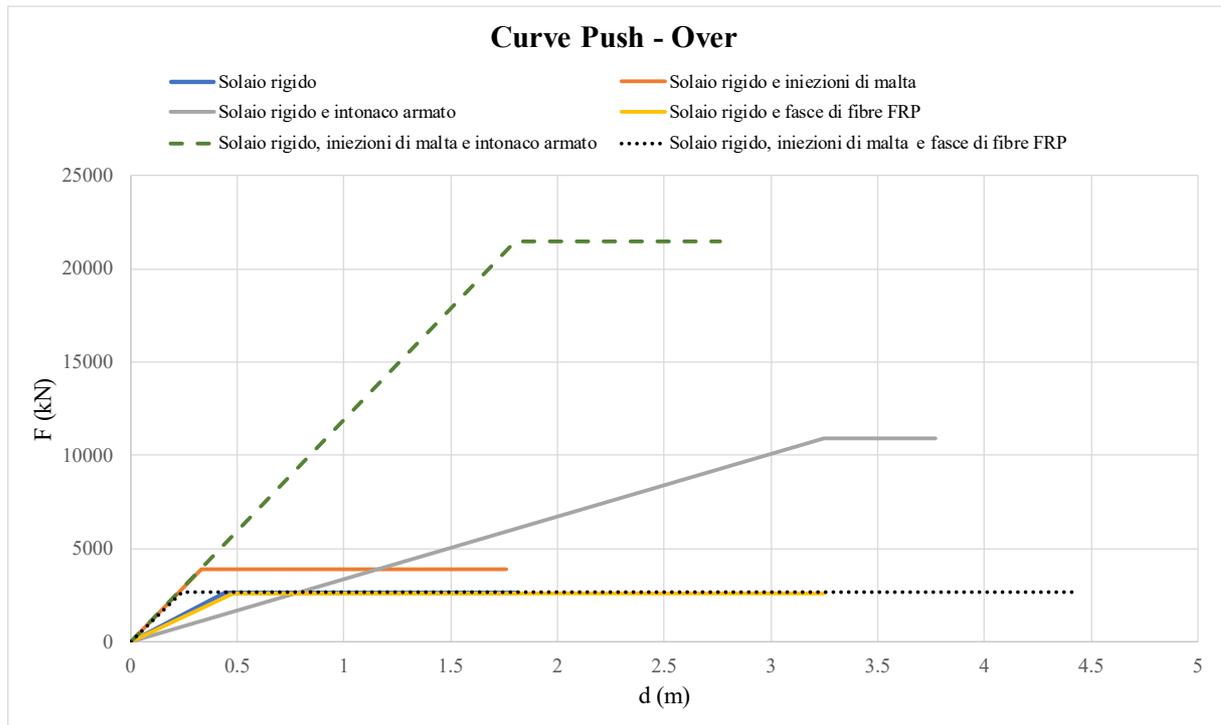
4.2.7.5 Solaio rigido, iniezioni di malta ed intonaco armato (rete elettrosaldata)



4.2.7.6 Solaio rigido, iniezioni di latta e FRP



4.2.7.7 Riepilogo risultati



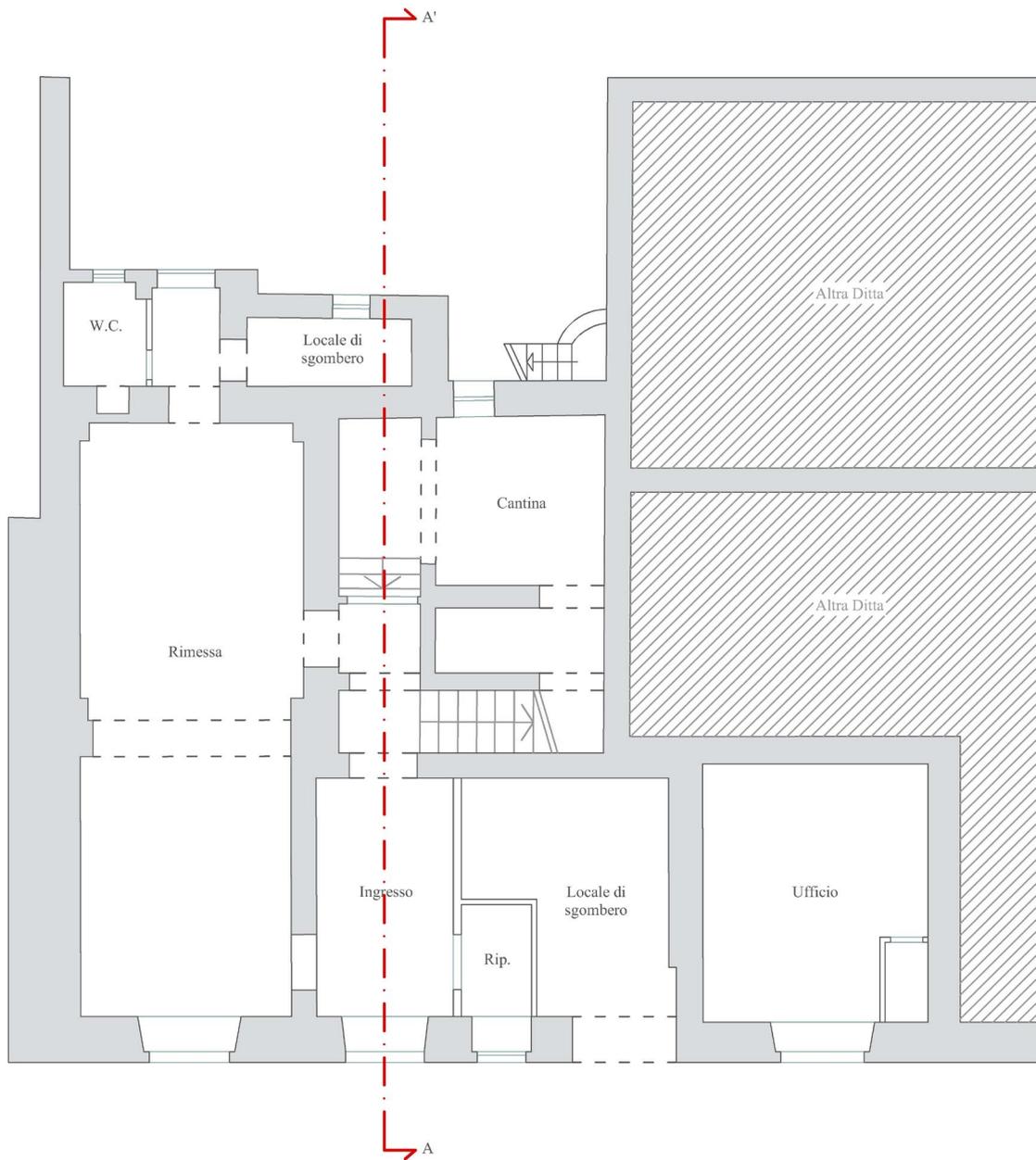
TIPO DI RINFORZO	Bilinearizzata			Limiti di Danno					
	dy	du	Fy	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D
Solaio rigido	0.44	1.81	2633	0.308	0.484	1.125	1.81	out	D5
Solaio rigido e iniezioni di malta	0.33	1.76	3917	0.231	0.363	1.045	1.76	1.47	D4
Solaio rigido e intonaco armato	3.25	3.77	10901	2.275	3.575	3.51	3.77	1.78	D1
Solaio rigido e fasce di fibre FRP	0.48	3.25	2634	0.336	0.528	1.865	3.25	2.43	D4
Solaio rigido, iniezioni di malta e intonaco armato	1.8	2.76	21474	1.26	1.98	2.28	2.76	0.88	D1
Solaio rigido, iniezioni di malta e fasce di fibre FRP	0.24	4.41	2674	0.168	0.264	2.325	4.41	1.65	D3

4.3 EDIFICIO 3

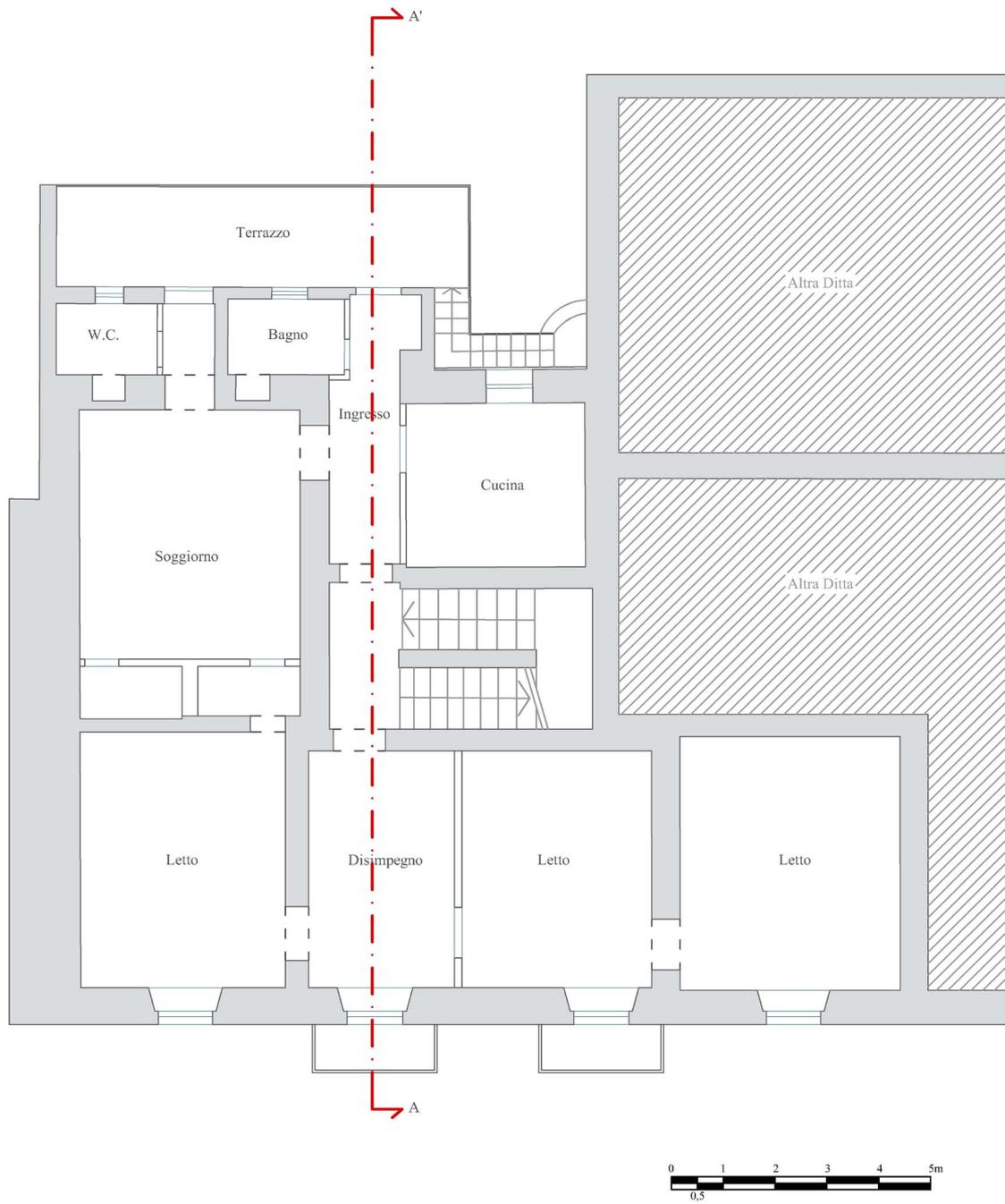
4.3.1 Piante, prospetti e sezioni

4.3.1.1 Piante

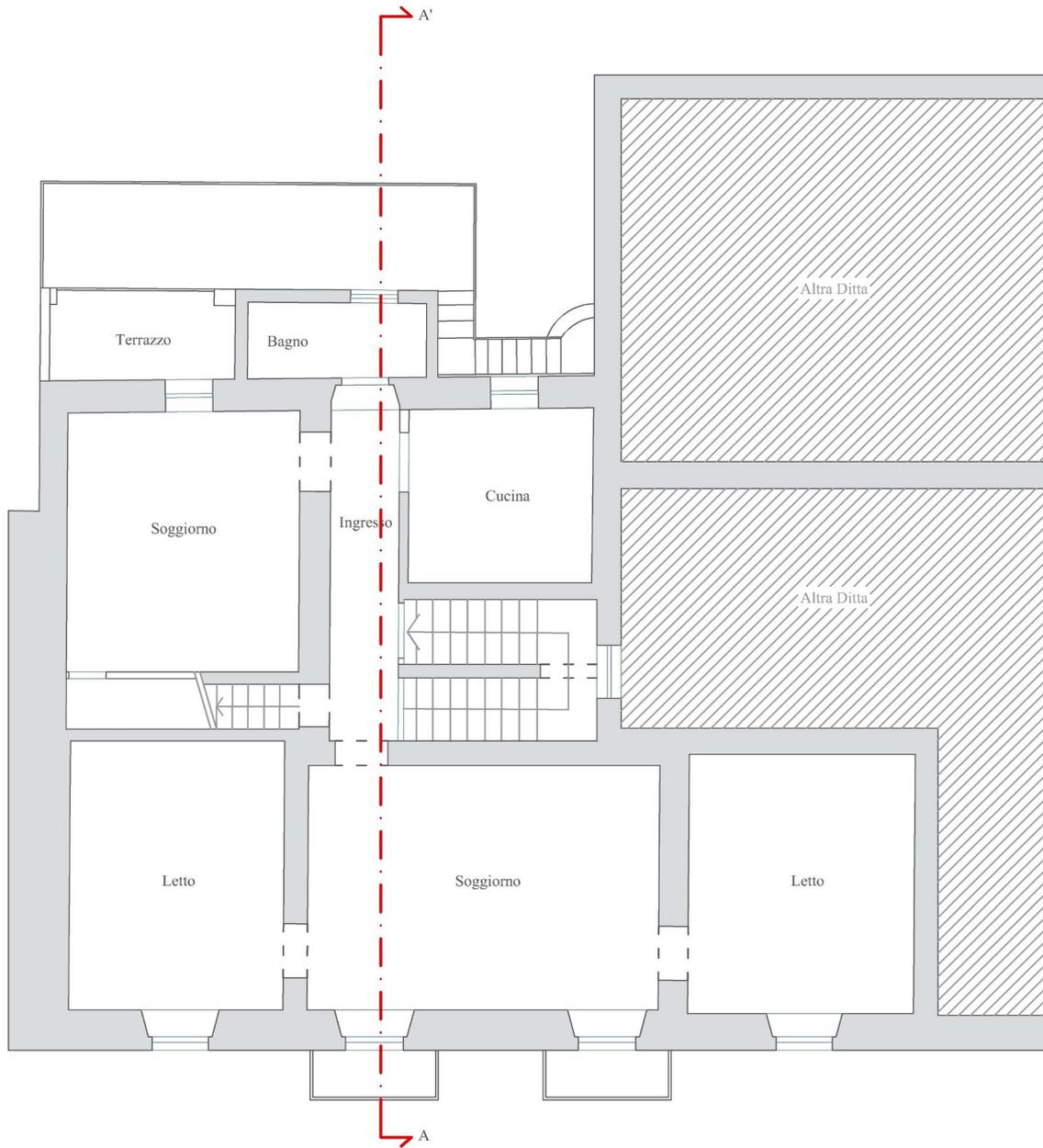
PIANTA PIANO TERRA



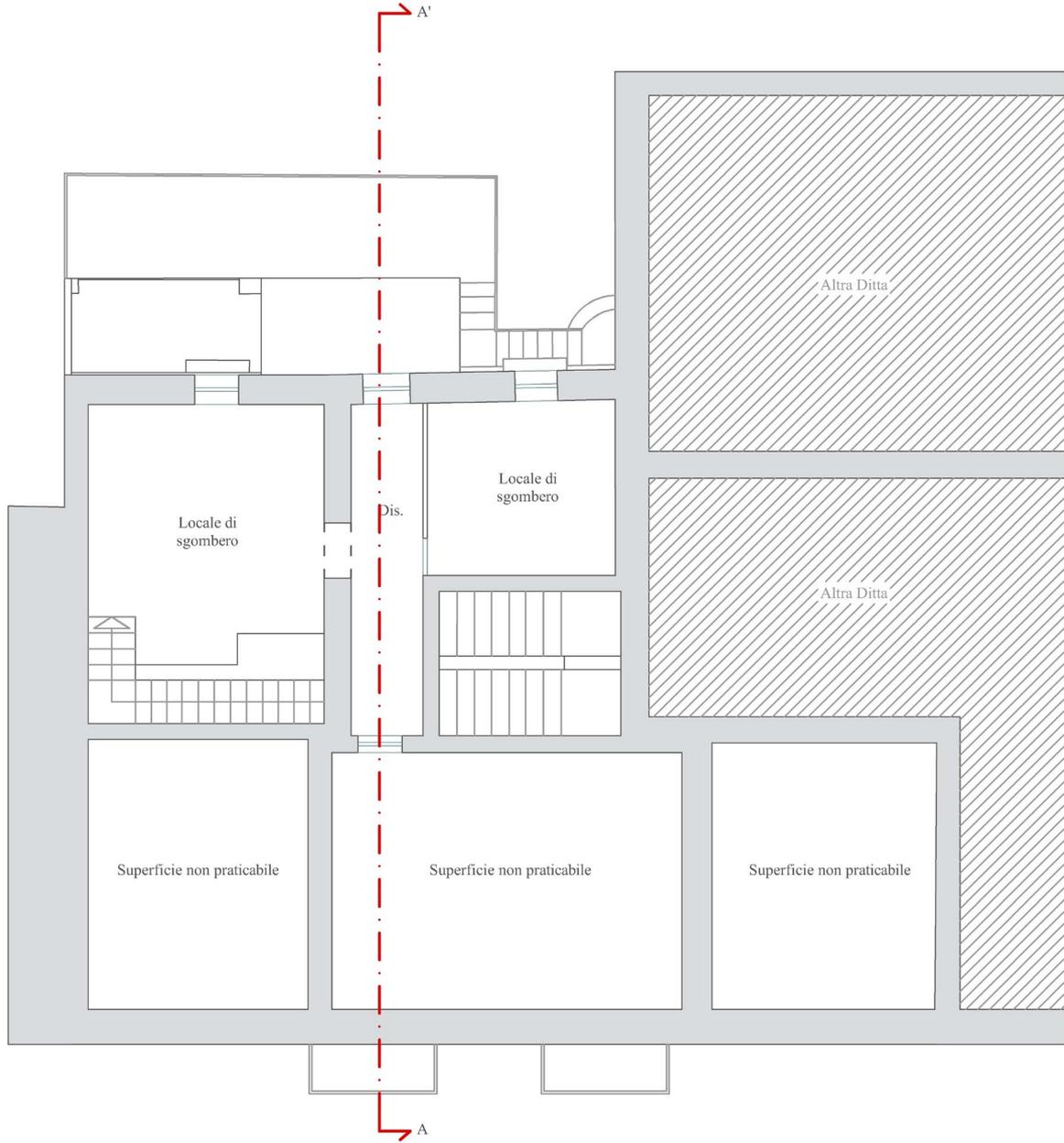
PIANTA PIANO PRIMO



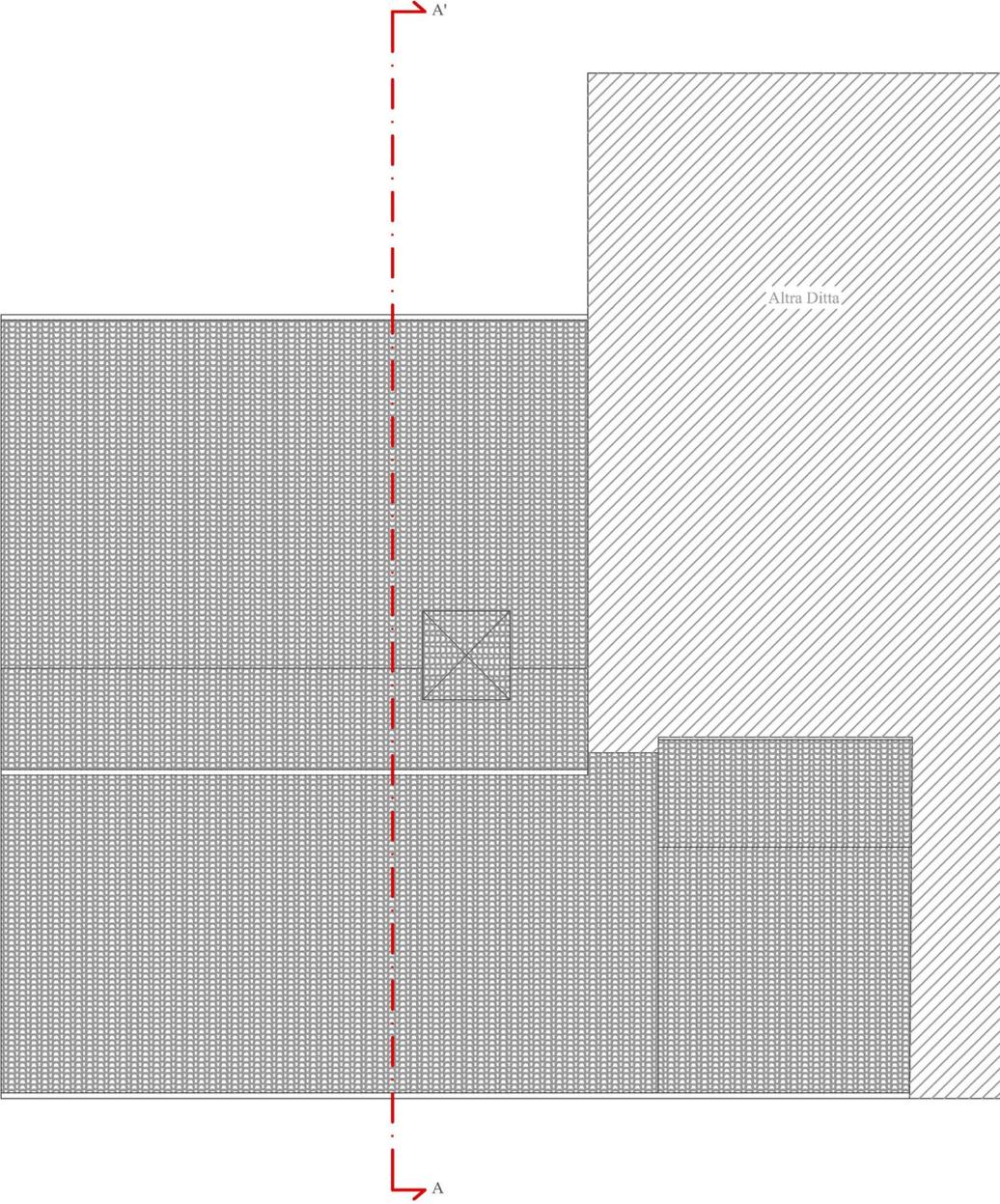
PIANTA PIANO SECONDO



PIANTA PIANO SOTTOTETTO



PIANTA PIANO SOTTOTETTO

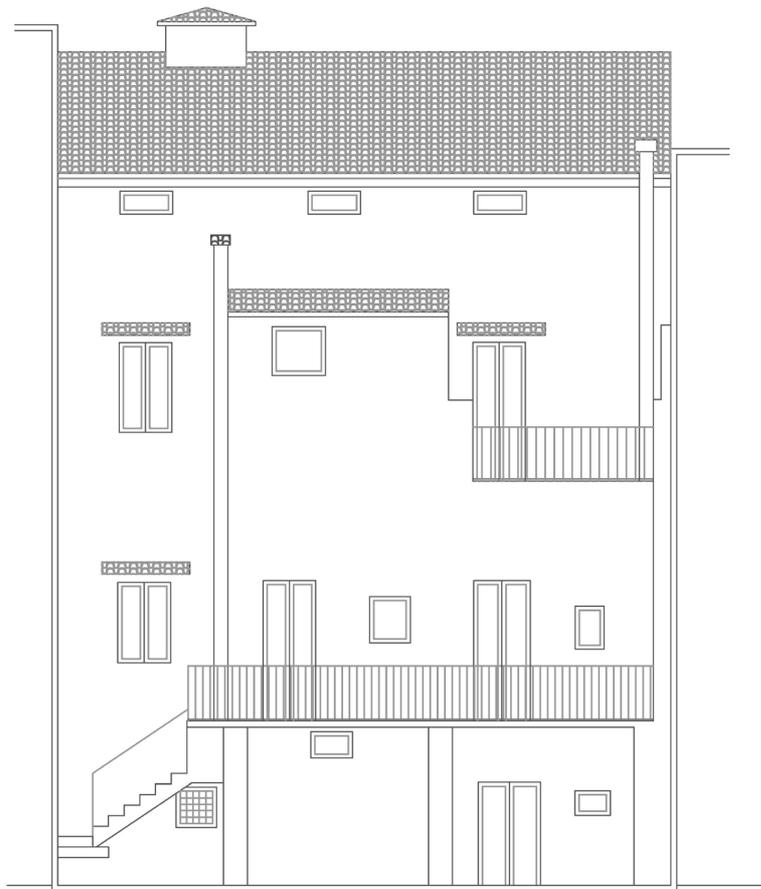


4.3.1.2 *rospeiti*

PROSPETTO ANTERIORE



PROSPETTO POSTERIORE



4.3.1.3 Sezioni

SEZIONE A - A'



4.3.2 Scheda Aedes

NOTE ESPLICATIVE SULLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA AeDES 05/2008

H1: Muratura rinforzata con iniezioni o intonaci non armati
 H2: Muratura smaltata o con intonaci armati
 H3: Muratura con altri o non intonaci armati
 H4: Muratura con altri o non intonaci armati

Sezione 4 - Danni ed ELEMENTI STRUTTURALI PRINCIPALI...
 Sezione 5 - Danni ed ELEMENTI NON STRUTTURALI...
 Sezione 6 - Pericolo ESTERNO ed interventi di P.I. eseguiti...
 Sezione 7 - Terreno e fondazioni...
 Sezione 8 - Giudizio di AGIBILITÀ...
 Sezione 9 - Altre osservazioni...

SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA
 (AeDES 05/2008) Codice Richiesta

Provincia: **RESARA** Identificativo Sopraluogo: **813**
 Comune: **COSTIGLIANO** Identificativo Edificio: **1014040**
 Frazione/Localtà: **VITTORETO**

SEZIONE 1 Identificazione edificio

SEZIONE 2 Descrizione edificio

N° Piani totali con interrati	Altezza media di piano [m]	Superficie media di piano [m²]	Età	Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione	Occupanti
01	0	2.50	A	1919	1	A	100
02	2	5.50x3.50	B	1945	1	B	2
03	11	3.50x5.0	C	42-61	1	C	3
04	12	4.50	D	72-81	1	D	4
05	12	5.00	E	100-130	1	E	6
06	13	5.00	F	130-170	1	F	6
07	17	2.50	G	170-230	1	G	7
08	17	2.50	H	230-300	1	H	8

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta)

SEZIONE 4 Danni ed ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti

SEZIONE 5 Danni ed ELEMENTI NON STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti

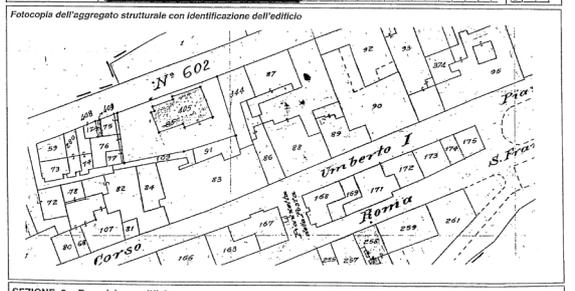
SEZIONE 6 Pericolo ESTERNO indotto da altre costruzioni e provvedimenti di p.i. eseguiti

SEZIONE 7 Terreno e fondazioni

SEZIONE 8 Giudizio di agibilità

SEZIONE 9 Altre osservazioni

IL TETTO È IN LEGNO CON TRAVI ANHACCORATE E ZAVELLE SPRESTATE



4.3.3 Report fotografico



Foto 14



Foto 16



Foto 2



Foto 1

4.3.4 Schede GNDT-II

4.3.4.1 Scheda GNDT-II originale

G.N.D.T. - SCHEDE DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)						
PARAMETRI		Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE			SCHEMI-RICHIAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	D	Norme nuove costruzioni (Classe A) 1 Norme riparazioni (Classe A) 2 Cordoli e catene tutti i livelli (Classe B) 3 Buoni ammassamenti fra muri (Classe C) 4 Senza cordoli cattivi ammassamenti (Classe D) 5			Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali t_x (U/mq) _____ _____ _____ _____ _____ Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 23.55 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 Coeff.ti: $a_0 = A/At$ 0.1 $Y = B/A$ 1.1 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm} / At + ps = 2.4$ $C = \frac{a_0 \tau k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a_0 \tau k (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0.4 = 0.27$
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	(vedi manuale) ...			
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	Numero di piani N 3 Area totale coperta At (mq) 195 Area Ax (mq) 23.55 Area Ay (mq) 26.8 rk (t/mq) 2 Altezza media interpiano h (m) 3.6 Peso Specifico Pareti pm (t/mc) 2.2 Carico permanente solai ps (t/mq) 0.4 Pendenza percentuale del terreno 0			
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Roccia Fondazioni: Si 1 No 2 Terr. Sciolto non sping. Fondazioni: Si 3 No 4 Terr. Sciolto sping. Fondazioni: Si 5 No 6 Differenza massima di quota Ah (m) 0			
5	ORIZZONTAMENTI	D	Piani sfalsati Si 1 No 2 Orizzontamenti rigidi e ben collegati 1 Orizzontamenti deformabili e ben collegati 2 Orizzontamenti rigidi e mal collegati 3 Orizzontamenti deformabili e mal collegati 4 % Orizzontamenti rigidi e ben collegati 10			
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	C	Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$ 0.59 Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$ 0.31			
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	% aumento (+) o diminuzione (-) di massa Rapporto percentuale T/H Percentuale superficie porticata Piano terra porticato Si 1 No 2			
8	Dmax MURATURE	A	Rapporto massimi l/s 8.5			
9	COPERTURA	B	Copertura: non spingente Φ poco spingente 1 spingente 2 Cordoli in copertura Si 1 No 2 Catene in copertura Si 2 No 3 Carico permanente copertura pc (t/mq) 0.1 Lunghezza appoggio copertura ls (m) 45 Perimetro copertura (m) 57			
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	(Vedi manuale)			
11	STATO DI FATTO	B	(Vedi manuale)			

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	51
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	123.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	168.8	
6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	181.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	181.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	181.3	
9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	188.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	188.8	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	193.8	

Parametro 7
 $P_7 = 0.5$ se l'irregolarità dell'edificio è data solamente dalla presenza di porticati al piano terra
 $P_7 = 1$ in tutti gli altri casi

Parametro 9
 $P_9 = 0.5 + \alpha_1 + \alpha_2 = 0.5$
 $\alpha_1 = 0.25$ per copertura in latero-cemento o comunque di peso maggiore o uguale a 200 kg/m²
 negli altri casi $\alpha_1 = 0$
 $\alpha_2 = 0.25$ se il rapporto tra il perimetro della copertura e la lunghezza complessiva delle zone di appoggio è maggiore o uguale a 2
 negli altri casi $\alpha_2 = 0$

Parametro	Punteggi				Peso
	A	B	C	D	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	45	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	1

4.3.4.2 Scheda GNDT-II modificata (classe E)

G.N.D.T. - SCHEDE DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)			
PARAMETRI	Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	SCHEMI-RICHAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	E	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) ... Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 23.55 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 Coeff.ti: a0 = A/At 0.1 Y = B/A 1.1 $q = (Ax+Ay) h pm/ At + ps = 2.4$ $C = \frac{a0 tk}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 tk (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0.4 = 0.27$
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	
5	ORIZZONTAMENTI	D	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	C	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	
8	Dmax MURATURE	A	
9	COPERTURA	B	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	
11	STATO DI FATTO	B	

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	V _{par}	V _{prog}	V _{tot}
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	51
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	123.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	168.8	
6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	181.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	181.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	181.3	
9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	188.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	188.8	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	193.8	
1 - Organizzazione del sistema resistente	E	100	1	100.0	100.0	65
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	111.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	178.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	178.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	223.8	
6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	236.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	236.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	236.3	
9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	243.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	243.8	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	248.8	

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0.25
 a2 = 0

Parametro	A	B	C	D	E	Peso
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	45	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.3.4.3 Scheda GNDT-II modificata (classe D)

PARAMETRI			Classi			ELEMENTI DI VALUTAZIONE			SCHEMI-RICHAMI		
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	D	Nuove norme costruzioni (Classe A)	1		Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq)					
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	Comportamento scottolare garantito (Classe B)	2		Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 23.55 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 Coeff.ti: $a_0 = A/At$ 0.1 $Y = B/A$ 1.1 $q = (Ax+Ay) h pm/ At + ps = 2.4$ $C = \frac{a_0 tk}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a_0 tk (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0.4 = 0.27$					
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	Cordoli o catene in copertura (Classe C)	3		Parametro 6: Configurazione planimetrica 					
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Buoni ammassamenti fra muri (Classe D)	4		Parametro 7: Configurazione in elevazione 					
5	ORIZZONTAMENTI	D	Senza cordoli cattivi ammassamenti (Classe E)	5		Parametro 9: Copertura 					
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	C	(vedi manuale)	...							
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	Numero di piani N	3							
8	Dmax MURATURE	A	Area totale coperta At (mq)	195							
9	COPERTURA	B	Area Ax (mq)	23.55							
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	Area Ay (mq)	26.8							
11	STATO DI FATTO	B	rk (t/mq)	2							
			Altezza media interpiano h (m)	3.6							
			Peso Specifico Pareti pm (t/mc)	2.2							
			Carico permanente solai ps (t/mq)	0.4							
			Pendenza percentuale del terreno	0							
			Roccia	Si 1	No 2						
			Terr. Sciolto non sping.	Si 3	No 4						
			Terr. Sciolto sping.	Si 5	No 6						
			Differenza massima di quota Ah (m)	0							
			Piani sfalsati	Si 1	No 2						
			Orizzontamenti rigidi e ben collegati	1							
			Orizzontamenti deformabili e ben collegati	2							
			Orizzontamenti rigidi e mal collegati	3							
			Orizzontamenti deformabili e mal collegati	4							
			% Orizzontamenti rigidi e ben collegati	10							
			Rapporto percentuale B1 = a1	0.59							
			Rapporto percentuale B2 = b/1	0.31							
			% aumento (+) o diminuzione (-) di massa								
			Rapporto percentuale T/H								
			Percentuale superficie porticata								
			Piano terra porticato	Si 1	No 2						
			Rapporto massimi l/s	8.5							
			Copertura: non spingente	1	spingente 2						
			Cordoli in copertura	Si 1	No 2						
			Catene in copertura	Si 2	No 3						
			Carico permanente copertura pe (t/mq)	0.1							
			Lunghezza appoggio copertura ls (m)	45							
			Perimetro copertura (m)	57							
			(Vedi manuale)								
			(Vedi manuale)								

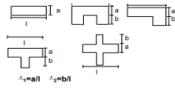
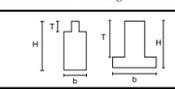
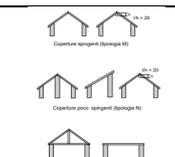
INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Lettera	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
		Numero	Peso	V _{str}	V _{prog}	V _{tot}	
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	45	1	45.0	45.0	51	
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	56.3		
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	123.8		
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	123.8		
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	168.8		
6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	181.3		
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	181.3		
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	181.3		
9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	188.8		
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	188.8		
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	193.8		
1 - Organizzazione del sistema resistente	D	70	1	70.0	70.0	57	
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	81.3		
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	148.8		
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	148.8		
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	193.8		
6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	206.3		
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	206.3		
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	206.3		
9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	213.8		
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	213.8		
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	218.8		

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5
 a1 = 0
 a2 = 0

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.3.4.4 Scheda GNDT-II modificata (classe C)

G.N.D.T. - SCHEDE DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)			
PARAMETRI	Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	SCHEMI-RICHIAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	C	<p>Parametro 3: Resistenza Convenzionale</p> <p>Tipologia strutture verticali tx (t/mq)</p> <hr/> <p>Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 23.55 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 26.8 Coeff. it: $a0 = A/A1 = 0.1$ $Y = B/A = 1.1$ $q = (Ax^2 + Ay^2) h \cdot pm / (At + ps) = 2.4$</p> $C = \frac{a0 \cdot \tau k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 \cdot \tau k (1+Y)}} = 0.1$ $\alpha = C/0.4 = 0.27$ <p>Parametro 6: Configurazione planimetrica</p>  <p>Parametro 7: Configurazione in elevazione</p>  <p>Parametro 9: Copertura</p> 
2	QUALITÀ DEL S.R.	D	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	D	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	
5	ORIZZONTAMENTI	D	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	C	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	
8	Dmax MURATURE	A	
9	COPERTURA	B	
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	
11	STATO DI FATTO	B	

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Lettera	Punteggio		Indice di Vulnerabilità		Vst
		Numero	Peso	V _{par}	V _{avg}	
1 - Organizzazione del sistema resistente	C	25	1	25.0	25.0	45
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	36.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	103.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	103.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	148.8	
6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	161.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	161.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	161.3	
9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	168.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	168.8	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	173.8	
1 - Organizzazione del sistema resistente	C	25	1	25.0	25.0	45
2 - Qualità del sistema resistente	D	45	0.25	11.3	36.3	
3 - Resistenza convenzionale	D	45	1.5	67.5	103.8	
4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	103.8	
5 - Orizzontamenti	D	45	1	45.0	148.8	
6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	161.3	
7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	161.3	
8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	161.3	
9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	168.8	
10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	168.8	
11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	173.8	

Parametro 7 P7 = 0.5
 Parametro 9 P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5

a1 = 0.25
 a2 = 0

Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.3.4.5 Scheda GNDT-II modificata (classe B)

PARAMETRI			Classi		ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI-RICHAMI	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	B	Nuove norme costruzioni (Classe A)		1	Parametro 3: Resistenza Convenzionale Tipologia strutture verticali tx (t/mq) <hr/> Minimo tra Ax ed Ay A (mq) 26.8 Massimo tra Ax ed Ay B (mq) 23.55 Coef.F.ti: a0 = A/At 0.1 Y = B/A 0.9 $q = (Ax+Ay) h \text{ pm}' / At + ps = 2.4$ $C = \frac{a0 \cdot tk}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a0 \cdot tk (1+Y)}} = 0.3$ $\alpha = C/0.4 = 0.80$		
			Comportamento scotolare garantito (Classe B)		2			
			Cordoli o catene in copertura (Classe C)		3			
			Buoni ammassamenti fra muri (Classe D)		4			
			Senza cordoli cattivi ammassamenti (Classe E)		5			
2	QUALITÀ DEL S.R.	B	(vedi manuale)		...			
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	B	Numero di piani N		3			
			Area totale coperta At (mq)		195			
			Area Ax (mq)		23.55			
			Area Ay (mq)		26.8			
			tk (t/mq)		10			
			Altezza media interpiano h (m)		3.6			
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	A	Pendenza percentuale del terreno		0			
			Roccia	Fondazioni:	Si 1 No 2			
			Terr. Sciolto non sping.	Fondazioni:	Si 3 No 4			
			Terr. Sciolto sping.	Fondazioni:	Si 5 No 6			
			Differenza massima di quota Ah (m)		0			
5	ORIZZONTAMENTI	A	Piani sfalsati		Si 1 No 2			
			Orizzontamenti rigidi e ben collegati		1			
			Orizzontamenti deformabili e ben collegati		2			
			Orizzontamenti rigidi e mal collegati		3			
			Orizzontamenti deformabili e mal collegati		4			
			% Orizzontamenti rigidi e ben collegati		100			
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	C	Rapporto percentuale B1 = a1		0.59			
			Rapporto percentuale B2 = h1		0.31			
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	A	% aumento (+) o diminuzione (-) di massa					
			Rapporto percentuale T/H					
			Percentuale superficie porticata					
8	Dmax MURATURE	A	Piano terra porticato		Si 1 No 2			
			Rapporto massimi l/s		8.5			
9	COPERTURA	B	Copertura: non spingente Φ poco spingente 1 spingente 2					
			Cordoli in copertura		Si 1 No 2			
			Catene in copertura		Si 2 No 3			
			Carico permanente copertura pe (t/mq)		0.1			
			Lunghezza appoggio copertura ls (m)		45			
			Perimetro copertura (m)		57			
10	ELEMENTI NON STRUTTURALI	B	(Vedi manuale)					
11	STATO DI FATTO	B	(Vedi manuale)					

INDICE DI VULNERABILITÀ

Parametro	Punteggio			Indice di Vulnerabilità		
	Lettera	Numero	Peso	Vpar	Vprog	Vtot
O 1 - Organizzazione del sistema resistente	B	5	1	5.0	5.0	10
R 2 - Qualità del sistema resistente	B	5	0.25	1.3	6.3	
I 3 - Resistenza convenzionale	B	5	1.5	7.5	13.8	
G 4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	13.8	
I 5 - Orizzontamenti	A	0	1	0.0	13.8	
N 6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	26.3	
A 7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	26.3	
L 8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	26.3	
E 9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	33.8	
O 10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	33.8	
O 11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	38.8	
M 1 - Organizzazione del sistema resistente	B	5	1	5.0	5.0	10
O 2 - Qualità del sistema resistente	B	5	0.25	1.3	6.3	
D 3 - Resistenza convenzionale	B	5	1.5	7.5	13.8	
I 4 - Posizione edificio e fondazione	A	0	0.75	0.0	13.8	
I 5 - Orizzontamenti	A	0	1	0.0	13.8	
F 6 - Configurazione planimetrica	C	25	0.5	12.5	26.3	
I 7 - Configurazione in elevazione	A	0	1	0.0	26.3	
C 8 - Dist. Max. muratura	A	0	0.25	0.0	26.3	
A 9 - Copertura	B	15	0.5	7.5	33.8	
T 10 - Elementi non strutturali	B	0	0.25	0.0	33.8	
O 11 - Stato di fatto	B	5	1	5.0	38.8	

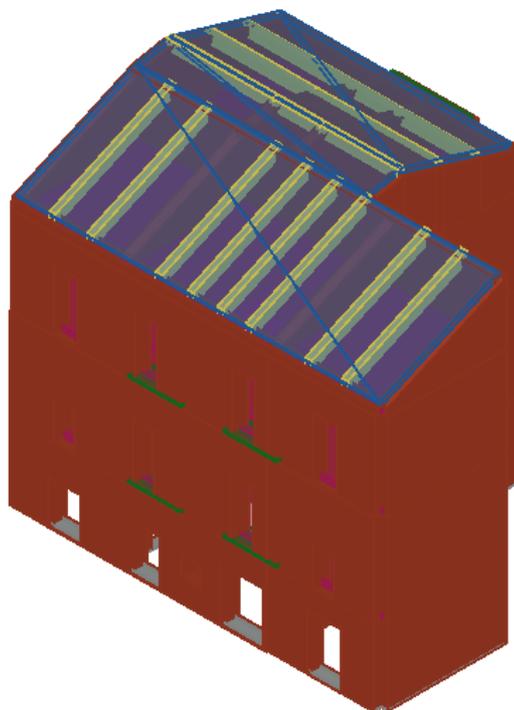
Parametro 7 $P7 = 0.5$
 $P7 = 1$

Parametro 9 $P9 = 0.5 + a1 + a2 = 0.5$
 $a1 = 0$
 $a2 = 0$

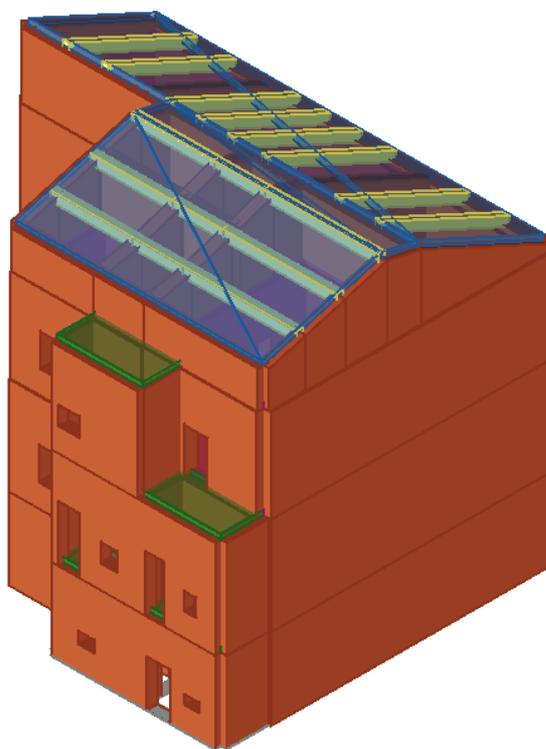
Parametro	Punteggi					Peso
	A	B	C	D	E	
1 - Organizzazione del sistema resistente	0	5	25	70	100	1
2 - Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	-	0.25
3 - Resistenza convenzionale	0	5	25	45	-	1.5
4 - Posizione edificio e fondazione	0	5	25	45	-	0.75
5 - Orizzontamenti	0	5	15	45	-	var
6 - Configurazione planimetrica	0	5	25	45	-	0.5
7 - Configurazione in elevazione	0	5	25	45	-	var
8 - Dist. Max. muratura	0	5	25	45	-	0.25
9 - Copertura	0	15	25	45	-	var
10 - Elementi non strutturali	0	0	25	45	-	0.25
11 - Stato di fatto	0	5	25	45	-	1

4.3.5 Modello di calcolo in 3muri

Vista Anteriore



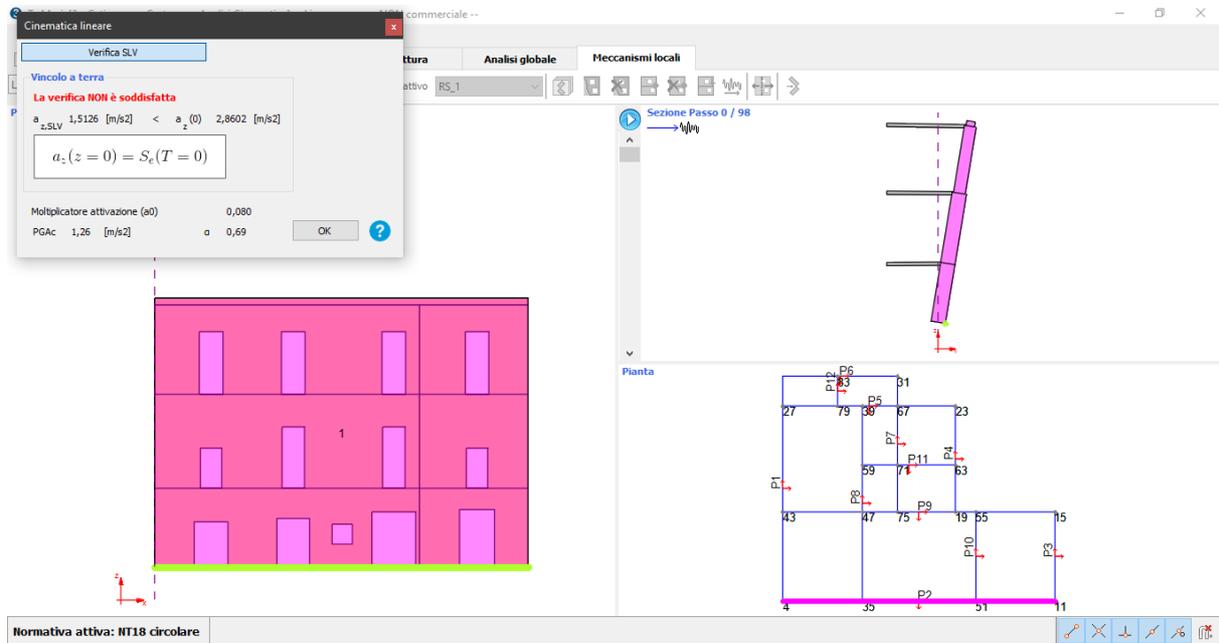
Vista Posteriore



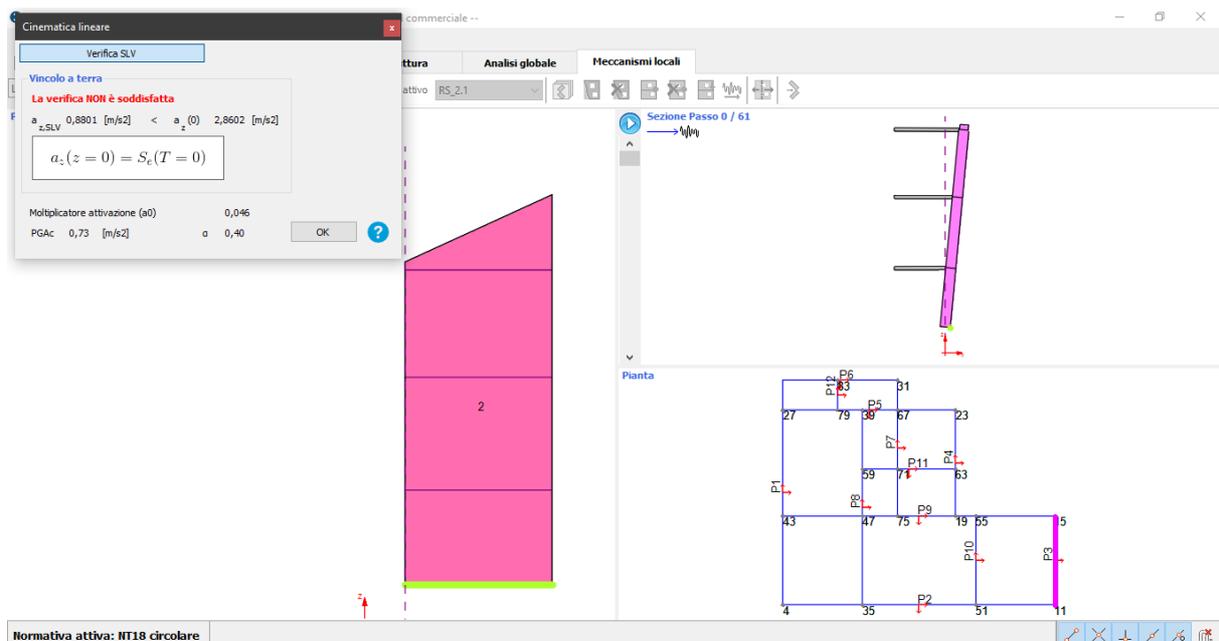
4.3.6 Risultati analisi cinematica lineare

4.3.6.1 Ribaltamento semplice

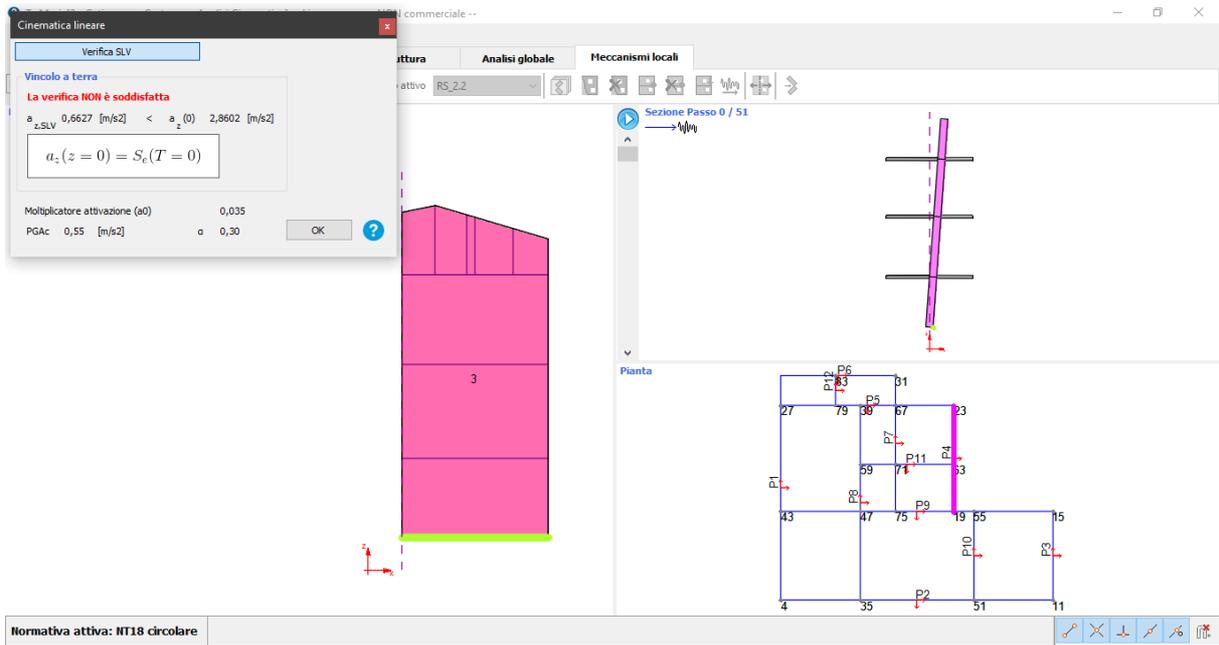
Parete 1



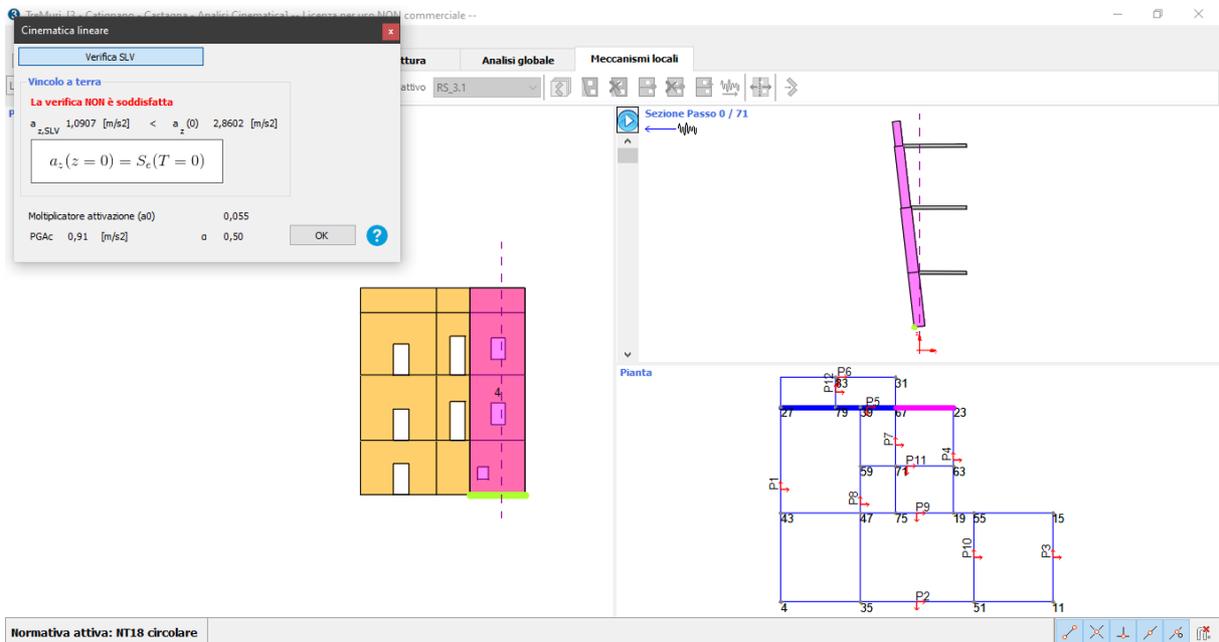
Parete 2.1



Parete 2.2



Parete 3.1



Parete 3.2

The screenshot displays a software interface for structural analysis. A dialog box titled "Cinematica lineare" is open, showing a "Verifica SLV" (SLV Verification) window. The window contains the following information:

- Vincolo a terra** (Ground constraint):
- La verifica NON è soddisfatta** (The verification is NOT satisfied).
- Acceleration values: $a_{z,SLV} = 1,1398 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and $a_z(0) = 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$.
- Equation: $a_z(z=0) = S_c(T=0)$.
- Parameters: $a_0 = 0,060$ and $c = 0,52$.
- Other parameters: $PGA_c = 0,95 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

The background shows a 3D model of a structure (labeled "5") and a 2D floor plan (labeled "Pianta") with various points (P1-P11) and sections (S1-S6) marked. The status bar at the bottom indicates "Normativa attiva: NT18 circolare".

Parete 4

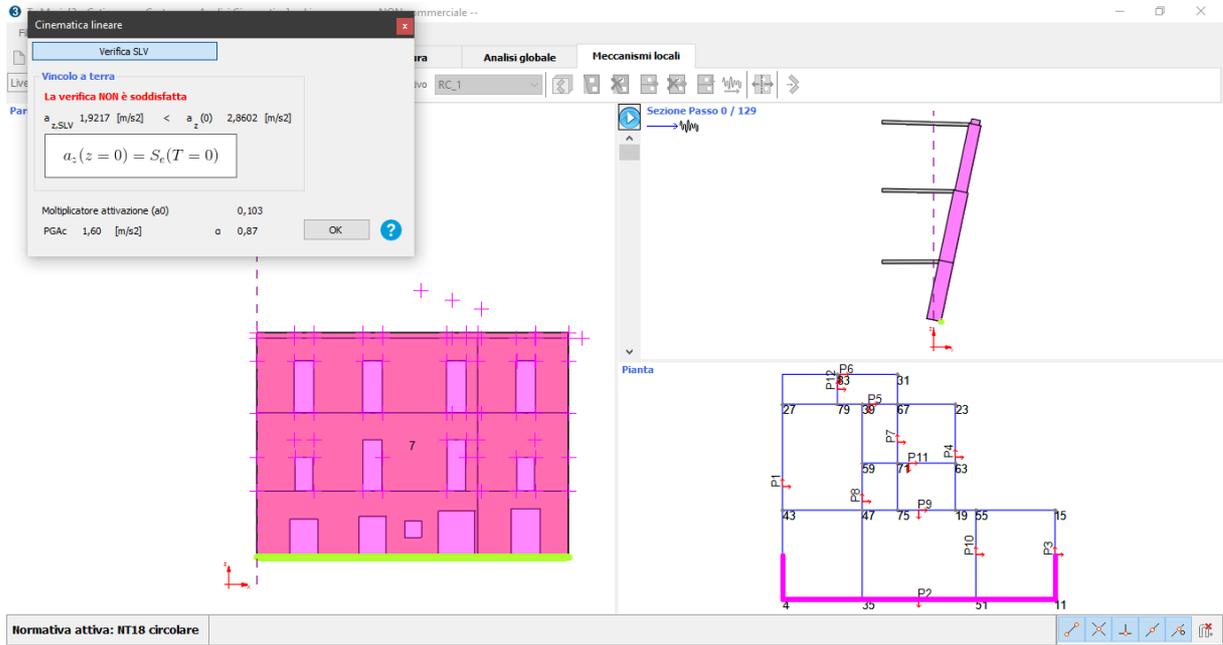
The screenshot displays a software interface for structural analysis. A dialog box titled "Cinematica lineare" is open, showing a "Verifica SLV" (SLV Verification) window. The window contains the following information:

- Vincolo a terra** (Ground constraint):
- La verifica NON è soddisfatta** (The verification is NOT satisfied).
- Acceleration values: $a_{z,SLV} = 0,9619 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and $a_z(0) = 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$.
- Equation: $a_z(z=0) = S_c(T=0)$.
- Parameters: $a_0 = 0,049$ and $c = 0,44$.
- Other parameters: $PGA_c = 0,80 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

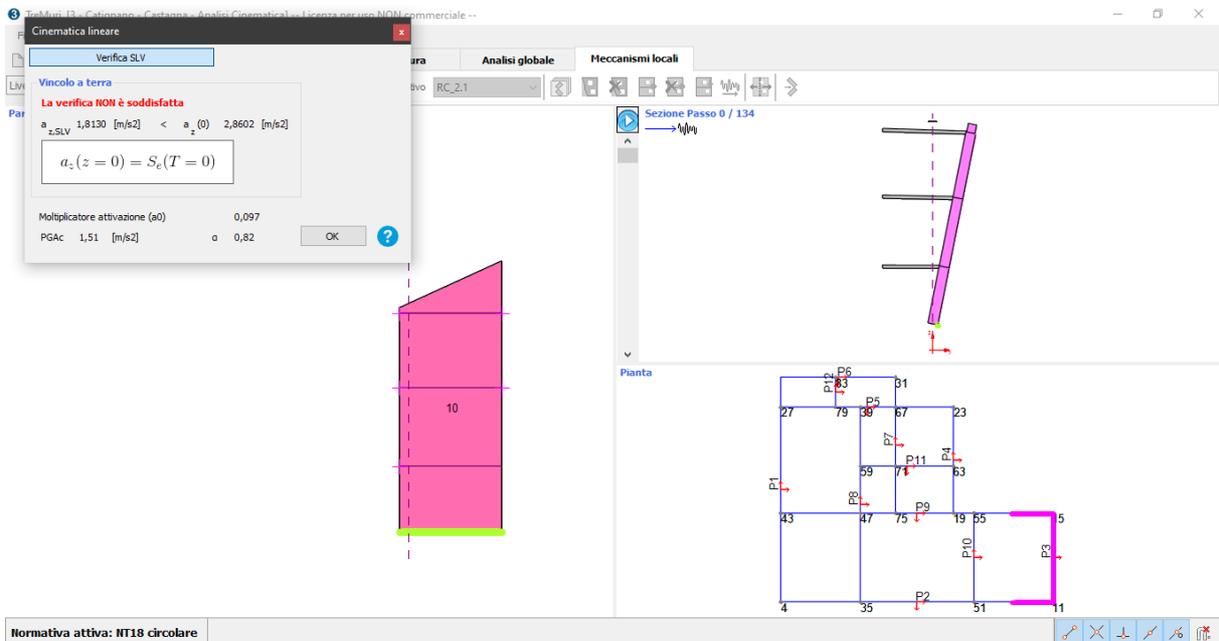
The background shows a 3D model of a structure (labeled "6") and a 2D floor plan (labeled "Pianta") with various points (P1-P11) and sections (S1-S6) marked. The status bar at the bottom indicates "Normativa attiva: NT18 circolare".

4.3.6.2 Ribaltamento composto

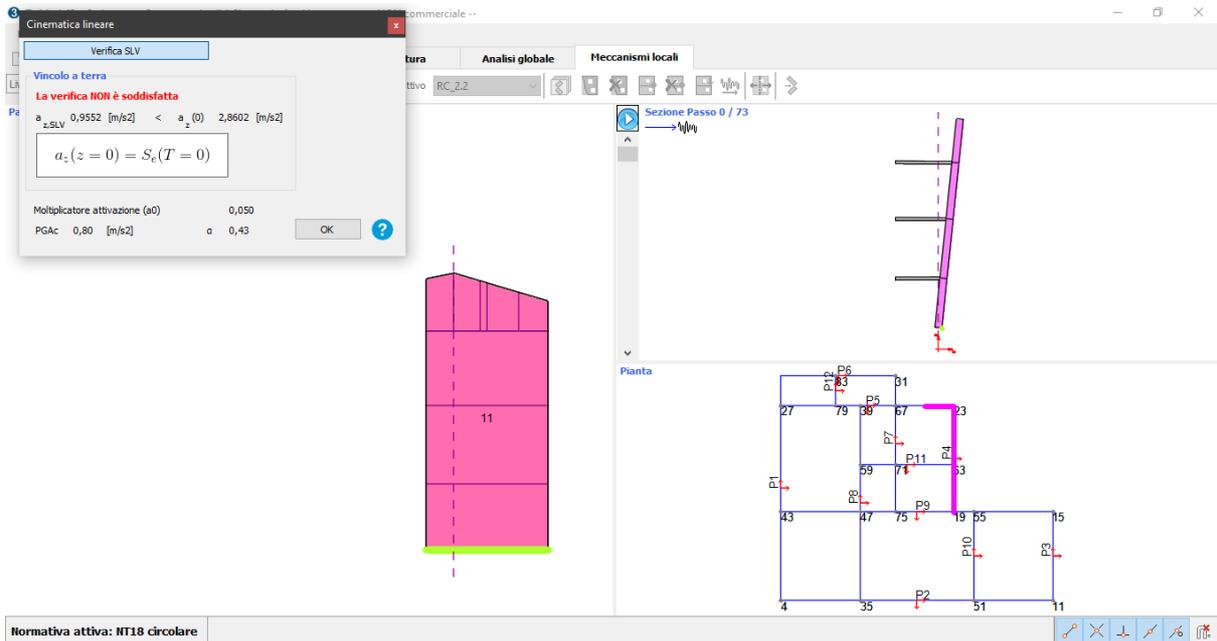
Parete 1



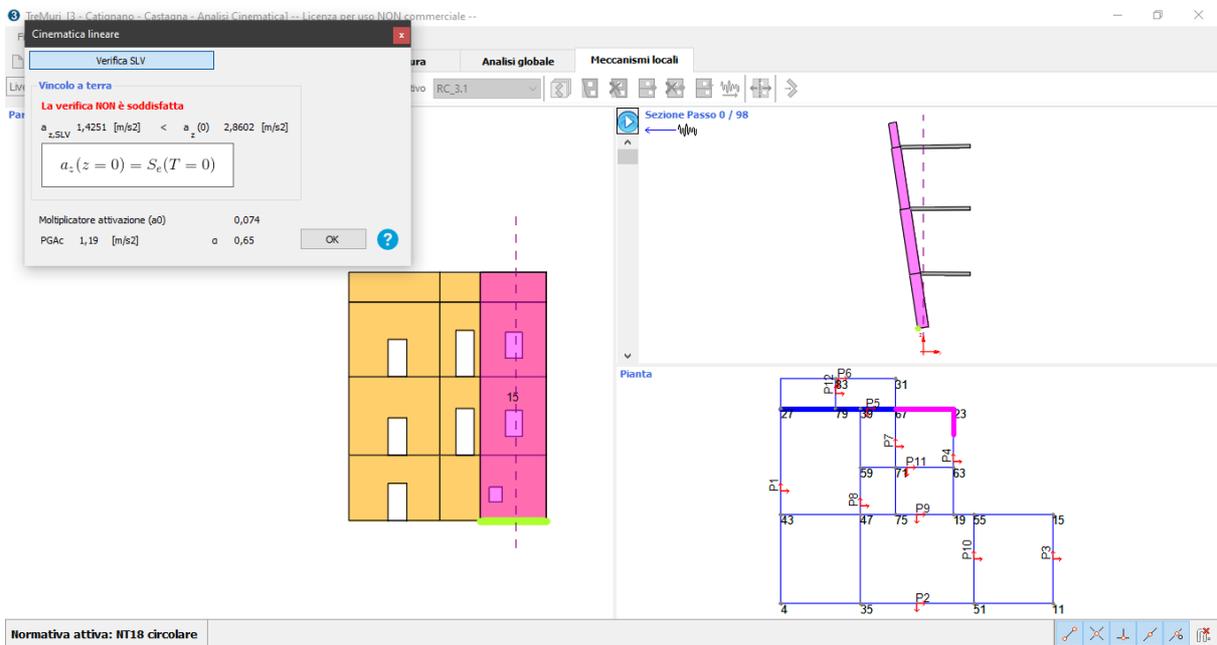
Parete 2.1



Parete 2.2



Parete 3.1



Parete 3.2

The screenshot shows the software interface for Parete 3.2. A modal dialog box titled "Cinematica lineare" is open, displaying the following information:

- Verifica SLV
- Vincolo a terra
- La verifica NON è soddisfatta
- $a_{z,SLV} 1,4542 \text{ [m/s}^2\text{]} < a_z(0) 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- $a_z(z=0) = S_z(T=0)$
- Moltiplicatore attivazione (a_0) 0,077
- PGAc 1,21 [m/s²] α 0,66

The background shows a 3D model of a wall structure (Parete 3.2) and a 2D floor plan (Pianta) with various points labeled (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11). The status bar at the bottom indicates "Normativa attiva: IT18 circolare".

Parete 4

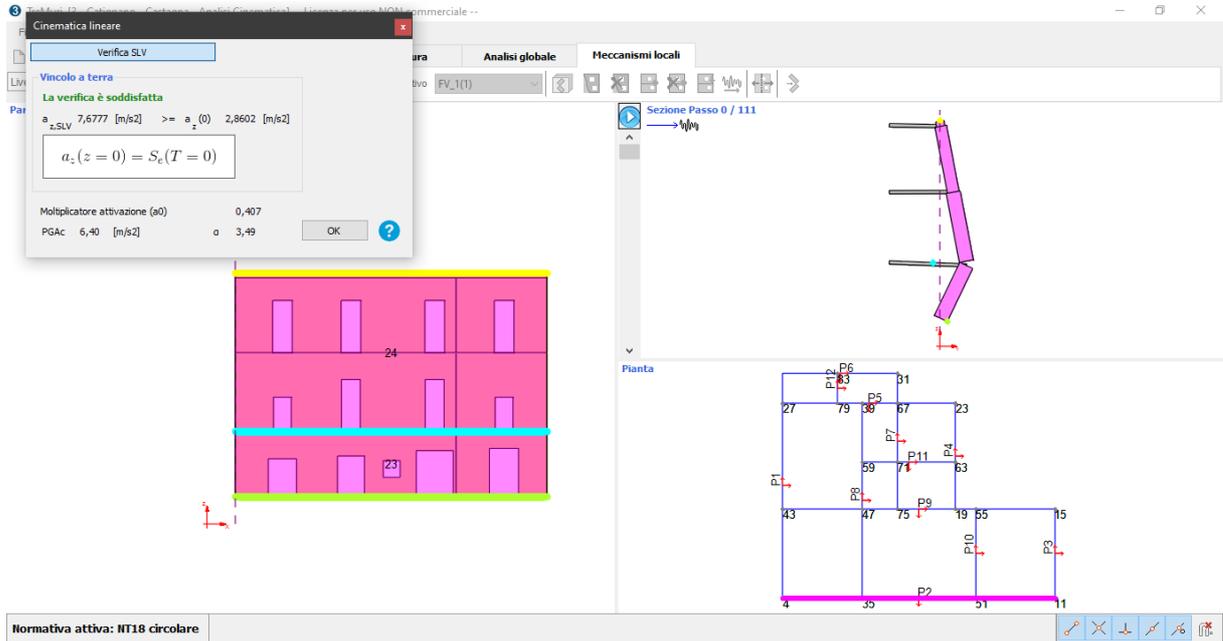
The screenshot shows the software interface for Parete 4. A modal dialog box titled "Cinematica lineare" is open, displaying the following information:

- Verifica SLV
- Vincolo a terra
- La verifica NON è soddisfatta
- $a_{z,SLV} 1,3521 \text{ [m/s}^2\text{]} < a_z(0) 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- $a_z(z=0) = S_z(T=0)$
- Moltiplicatore attivazione (a_0) 0,070
- PGAc 1,13 [m/s²] α 0,61

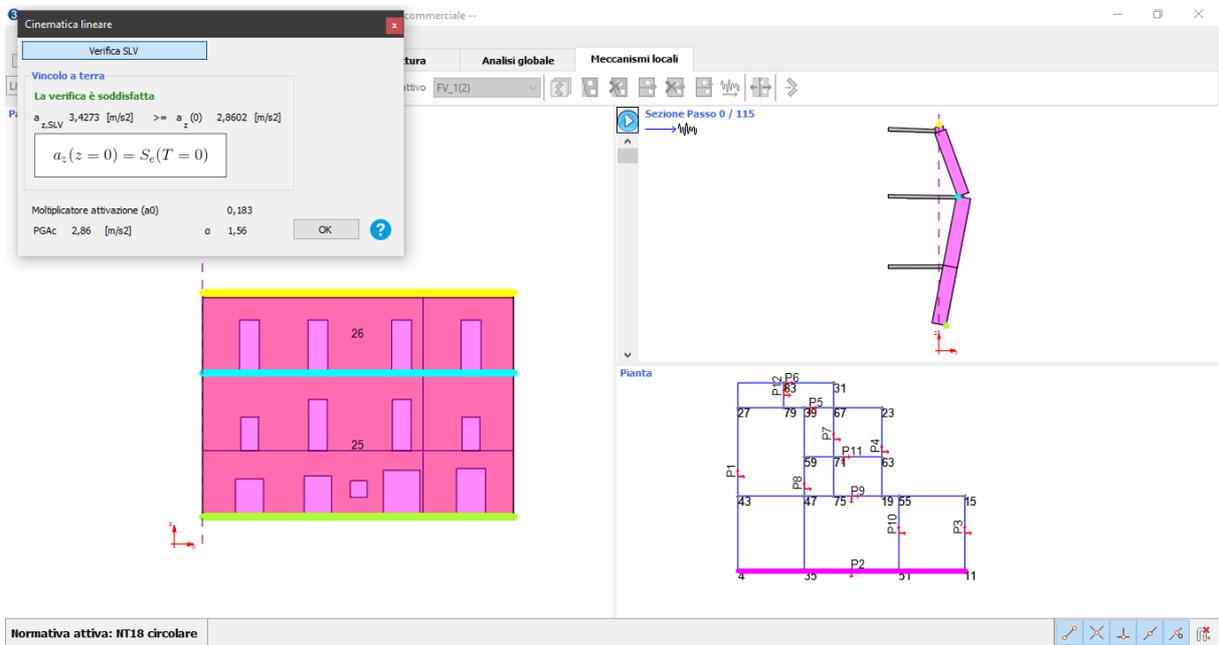
The background shows a 3D model of a wall structure (Parete 4) and a 2D floor plan (Pianta) with various points labeled (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11). The status bar at the bottom indicates "Normativa attiva: IT18 circolare".

4.3.6.3 Flessione verticale

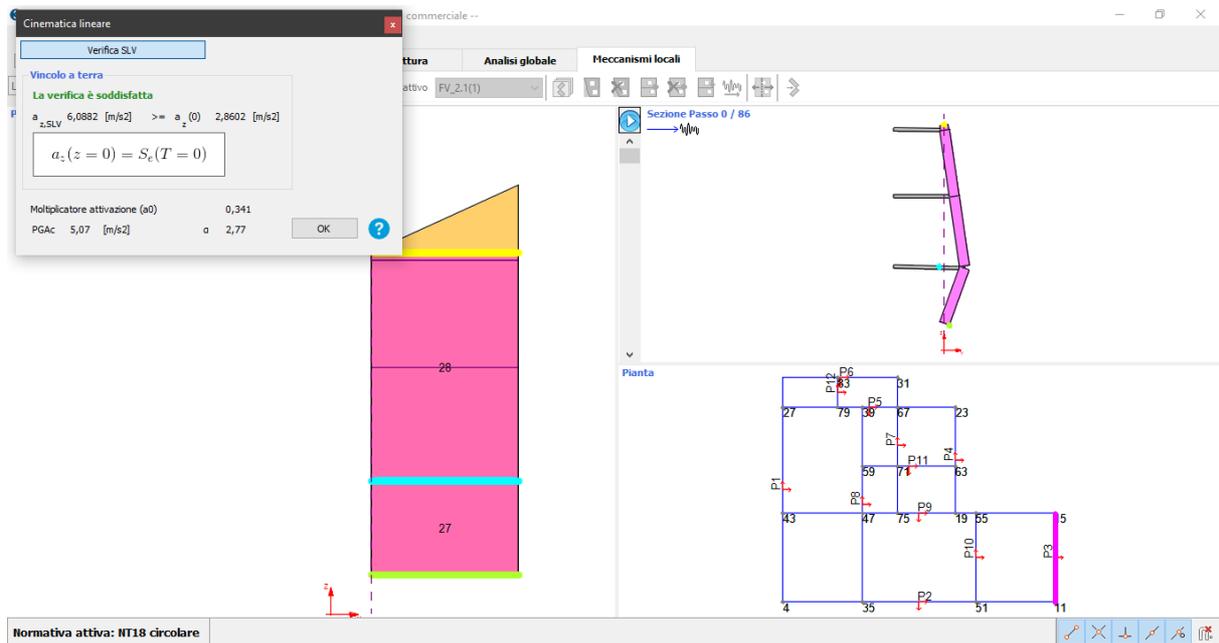
Parete 1(1)



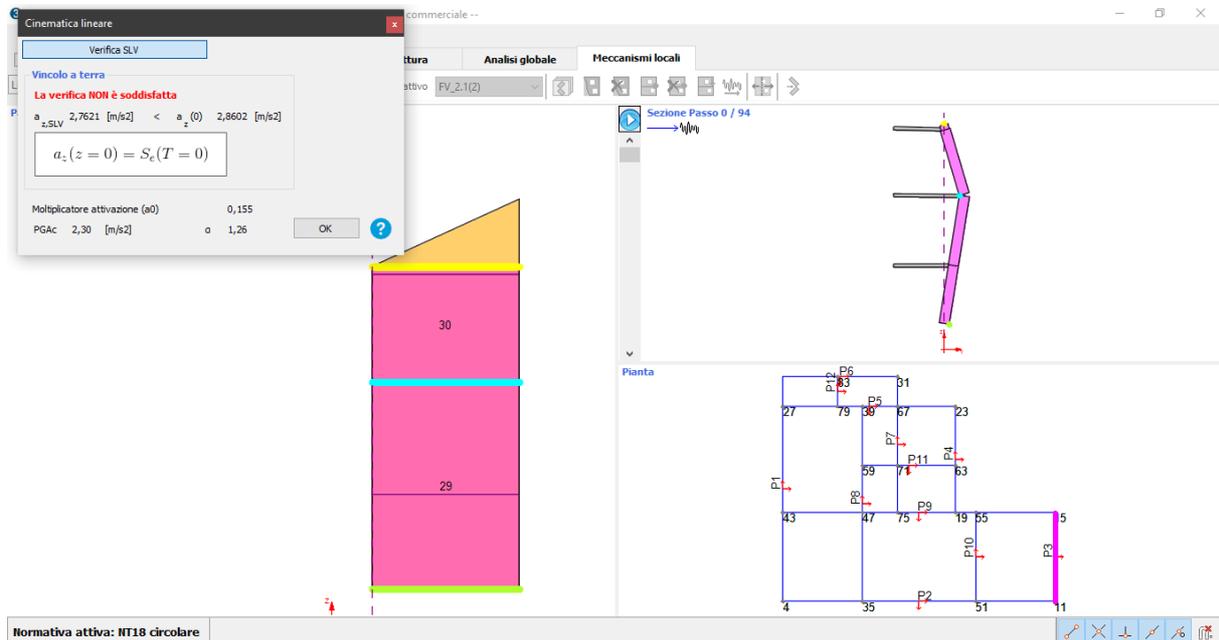
Parete 1(2)



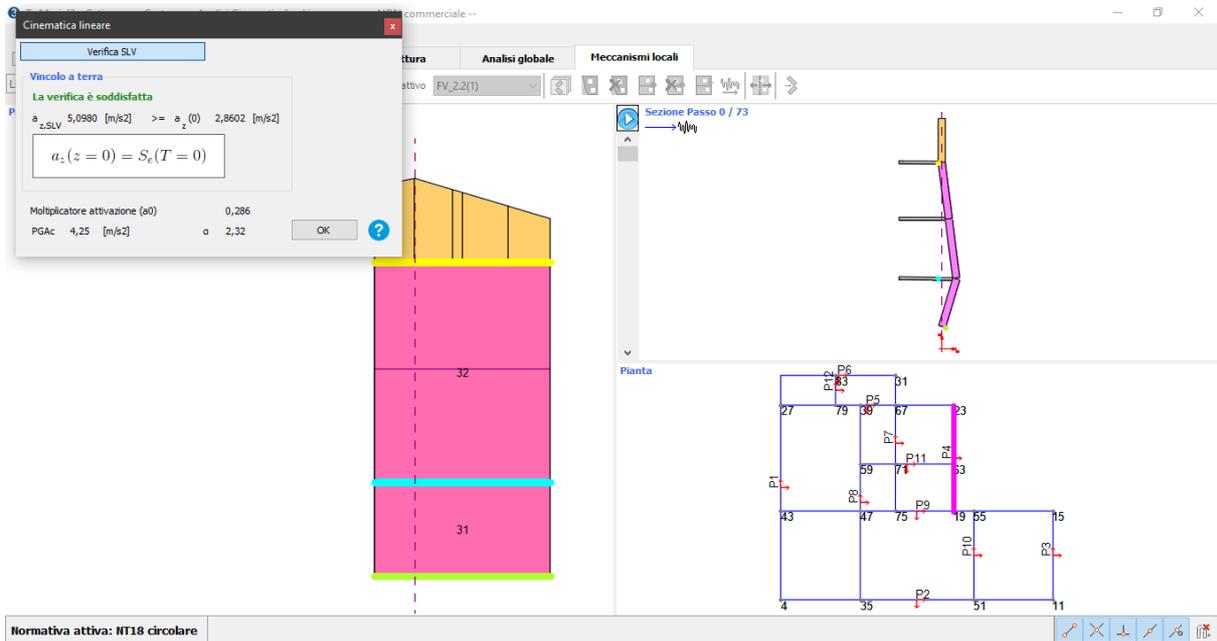
Parete 2.1(1)



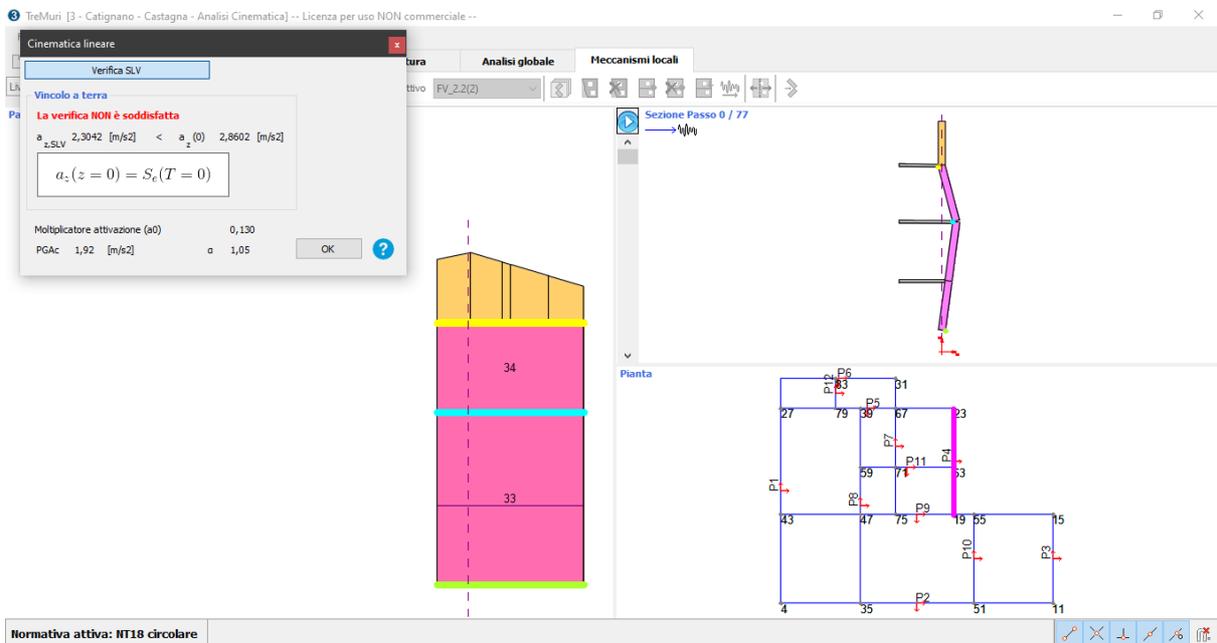
Parete 2.1(2)



Parete 2.2(1)



Parete 2.2(2)



Parete 3.1(1)

The screenshot displays the software interface for Parete 3.1(1). A dialog box titled "Cinematica lineare" is open, showing the "Verifica SLV" section. The text "La verifica è soddisfatta" is displayed in green. The acceleration values are $a_{z,SLV} = 7,3116 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and $a_z(0) = 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$. The equation $a_z(z=0) = S_c(T=0)$ is shown. The activation multiplier is $a_0 = 0,383$. The PGAC value is $6,09 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and the parameter α is $3,32$. The background shows a 3D model of a wall section and a 2D floor plan with nodes and points labeled.

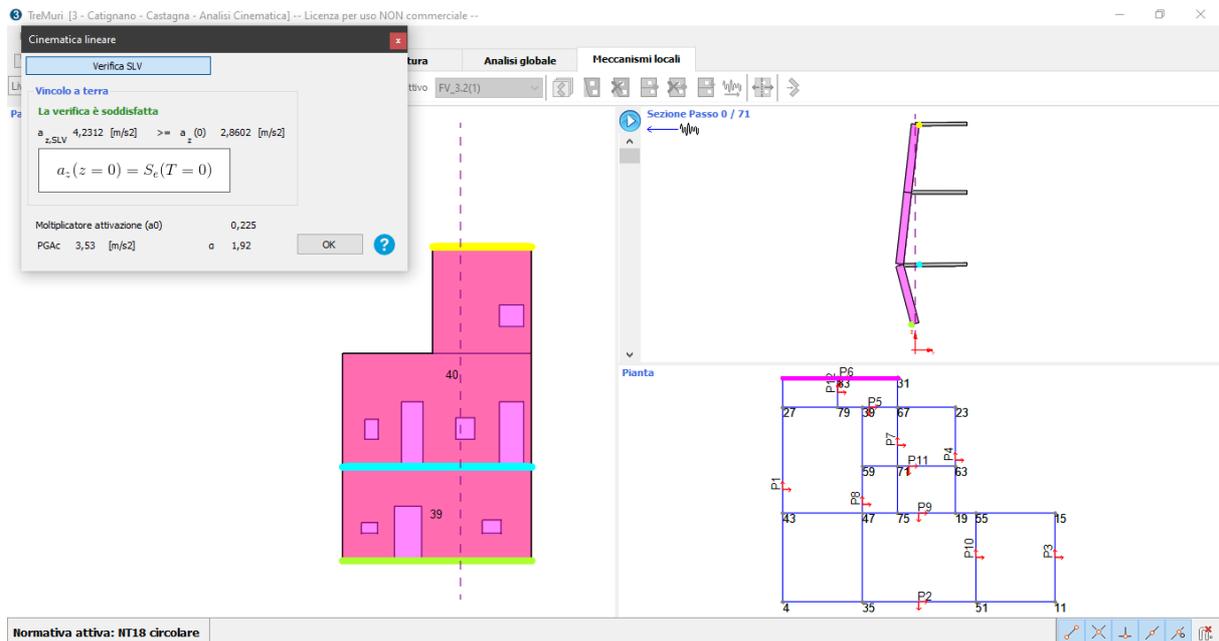
Normativa attiva: NT18 circolare

Parete 3.1(2)

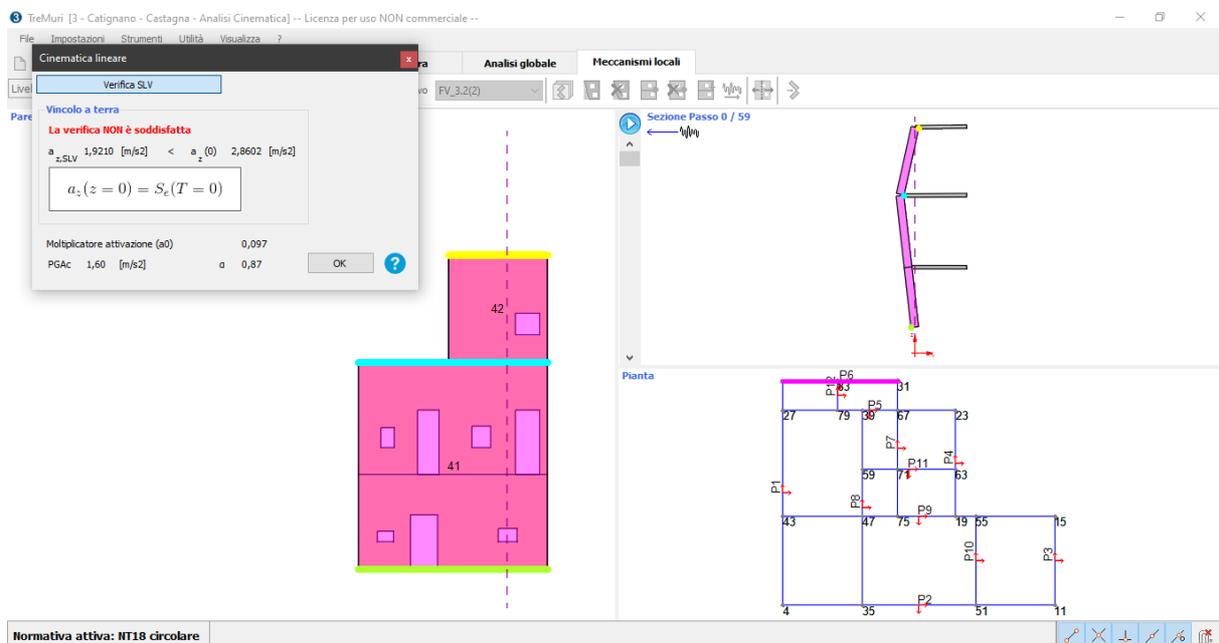
The screenshot displays the software interface for Parete 3.1(2). A dialog box titled "Cinematica lineare" is open, showing the "Verifica SLV" section. The text "La verifica è soddisfatta" is displayed in green. The acceleration values are $a_{z,SLV} = 3,1338 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and $a_z(0) = 2,8602 \text{ [m/s}^2\text{]}$. The equation $a_z(z=0) = S_c(T=0)$ is shown. The activation multiplier is $a_0 = 0,161$. The PGAC value is $2,61 \text{ [m/s}^2\text{]}$ and the parameter α is $1,42$. The background shows a 3D model of a wall section and a 2D floor plan with nodes and points labeled.

Normativa attiva: NT18 circolare

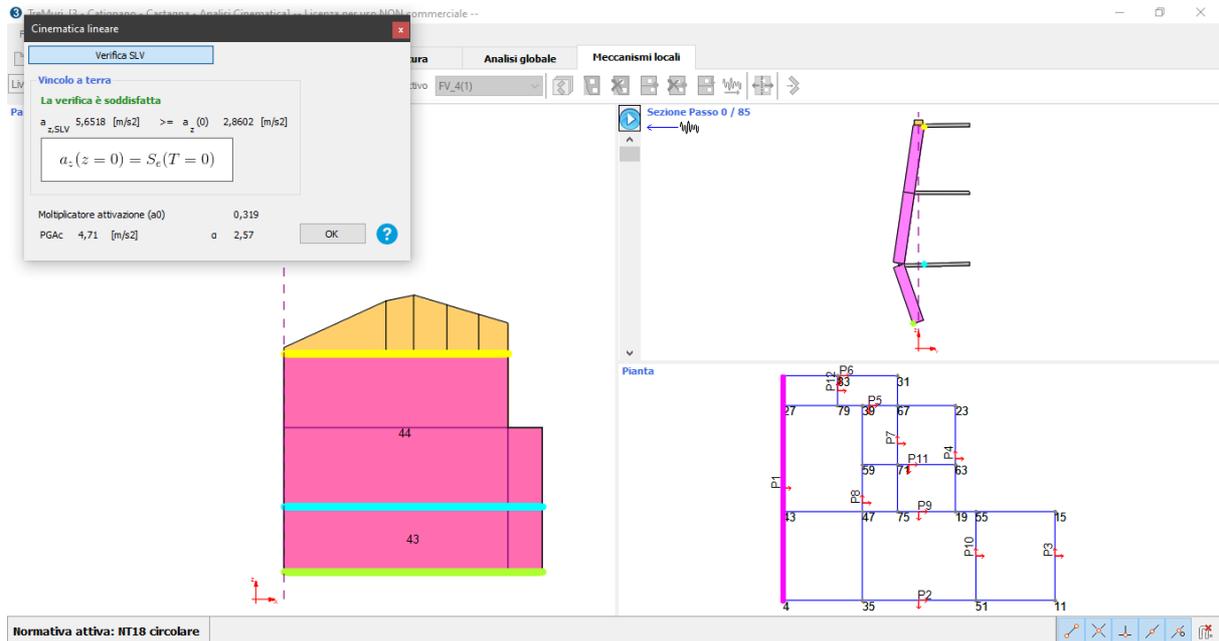
Parete 3.2(1)



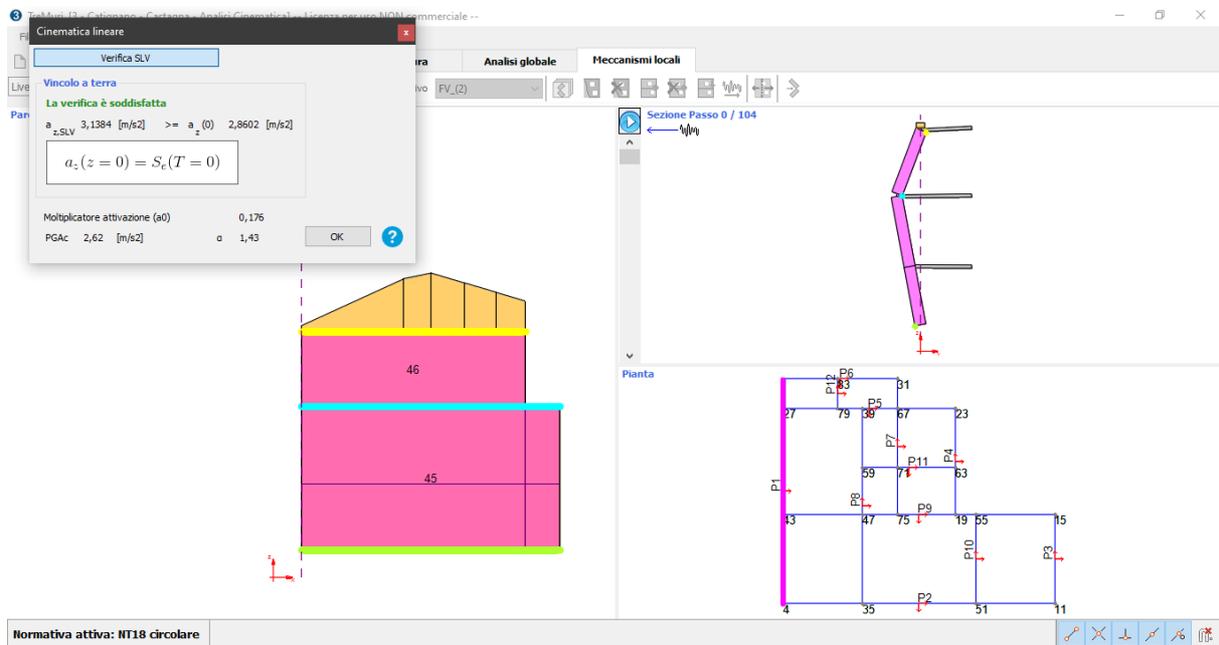
Parete 3.2(2)



Parete 4 (1)



Parete 4 (2)



4.3.6.4 Riepilogo risultati

Ribatamento Semplice - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s ²)	a^* (0-min) (m/s ²)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	1.51	2.86	out	0.151	0.04	1.65	7.7	4 = 5
2.1	0.88	2.86	out	0.088			6.6	
2.2	0.66	2.86	out	0.066			6.0	
3.1	1.09	2.86	out	0.109			7.0	
3.2	1.14	2.86	out	0.114			7.1	
4	0.95	2.86	out	0.095			6.7	

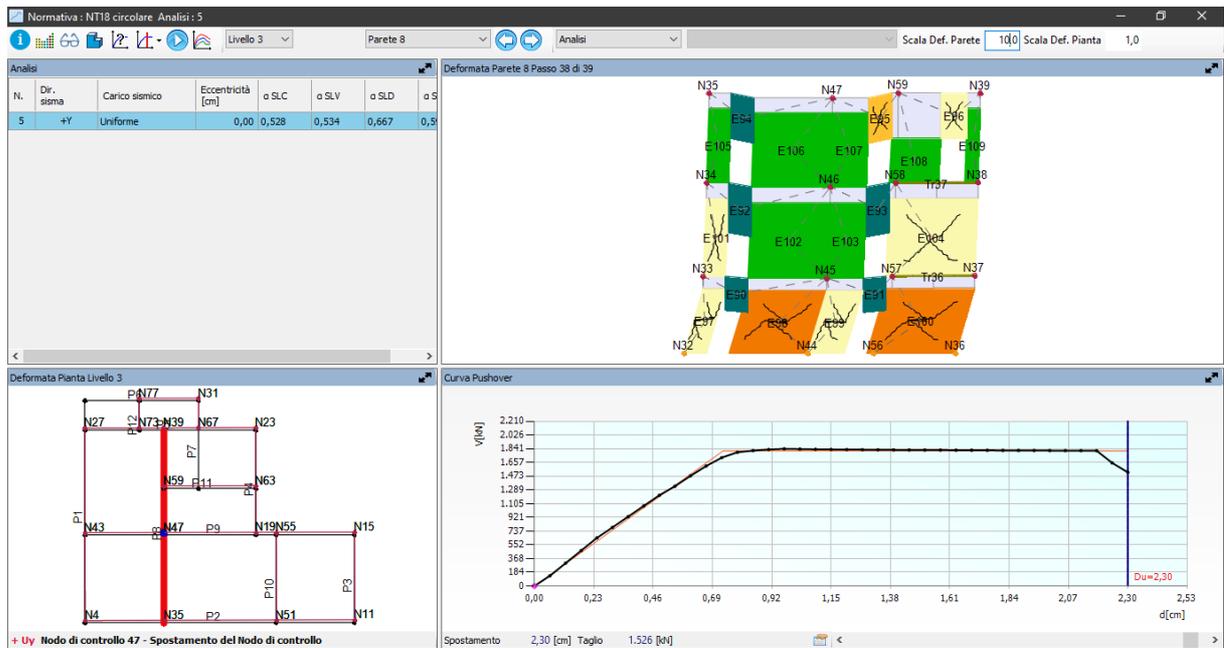
Ribatamento Composto - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s ²)	a^* (0-min) (m/s ²)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1	1.92	2.86	out	0.192	0.04	1.65	8.1	4 = 5
2.1	1.77	2.86	out	0.177			8.0	
2.2	0.95	2.86	out	0.095			6.7	
3.1	1.42	2.86	out	0.142			7.5	
3.2	1.45	2.86	out	0.145			7.6	
4	1.35	2.86	out	0.135			7.4	

Flessione Verticale - SLV								
ID parete	$a_{z,SLV}$ (m/s ²)	a^* (0-min) (m/s ²)	Verifica in/out	$a_{z,SLV}$ (g)	Margottini et al. (1992)		I	μD
					c1	c2		
1 (1)	7.66	2.86	in	0.766	0.04	1.65	10.9	4 = 5
1 (2)	3.42	2.86	in	0.342			9.3	
2.1(1)	6.09	2.86	in	0.609			10.4	
2.1(2)	2.76	2.86	out	0.276			8.9	
2.2(1)	5.09	2.86	in	0.509			10.1	
2.2(2)	2.3	2.86	out	0.23			8.5	
3.1(1)	7.33	2.86	in	0.733			10.8	
3.1(2)	3.13	2.86	in	0.313			9.1	
3.2(1)	4.23	2.86	in	0.423			9.7	
3.2(2)	1.92	2.86	out	0.192			8.1	
4(1)	5.65	2.86	in	0.565			10.3	
4(2)	3.14	2.86	in	0.314			9.1	

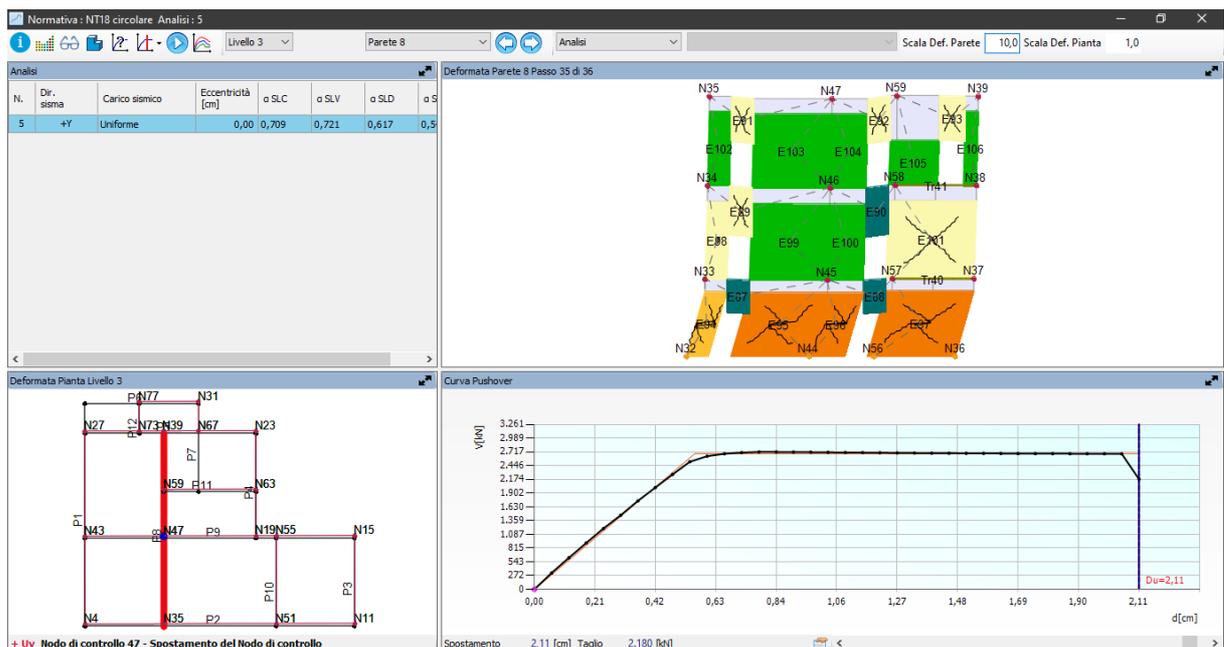
4.3.7 Analisi statica non lineare

Sono state effettuate diverse analisi statiche non lineare, una per ogni tipo di rinforzo studiato ed una per ogni combinazione tra rinforzi.

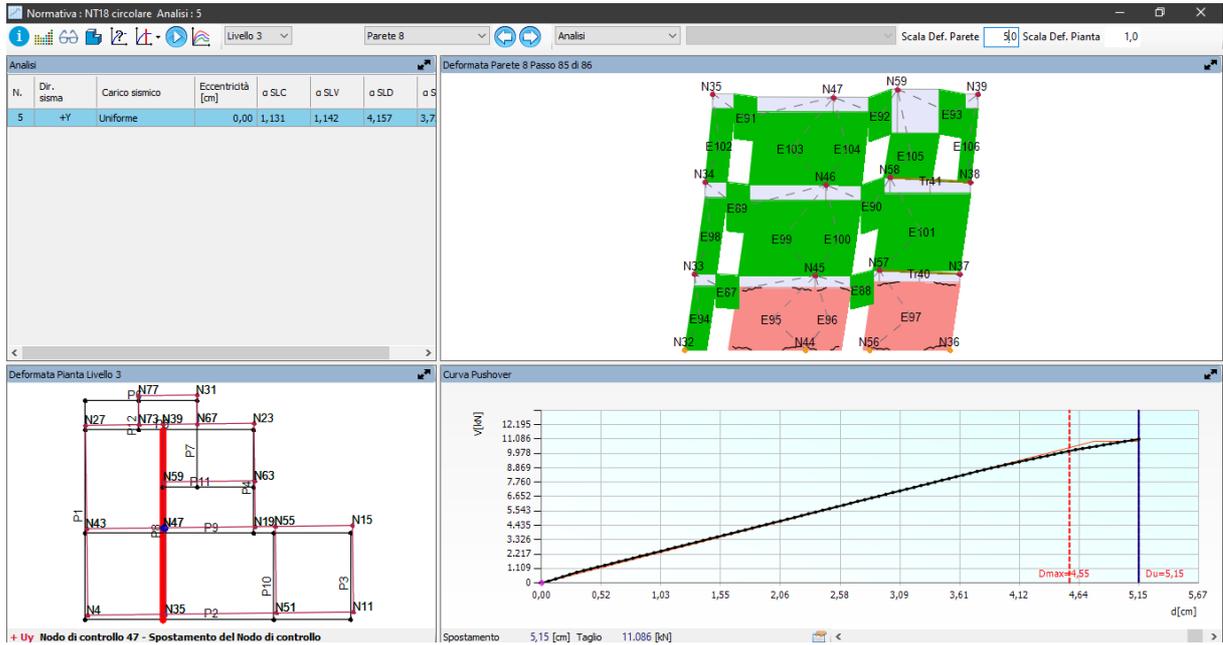
4.3.7.1 Solaio rigido



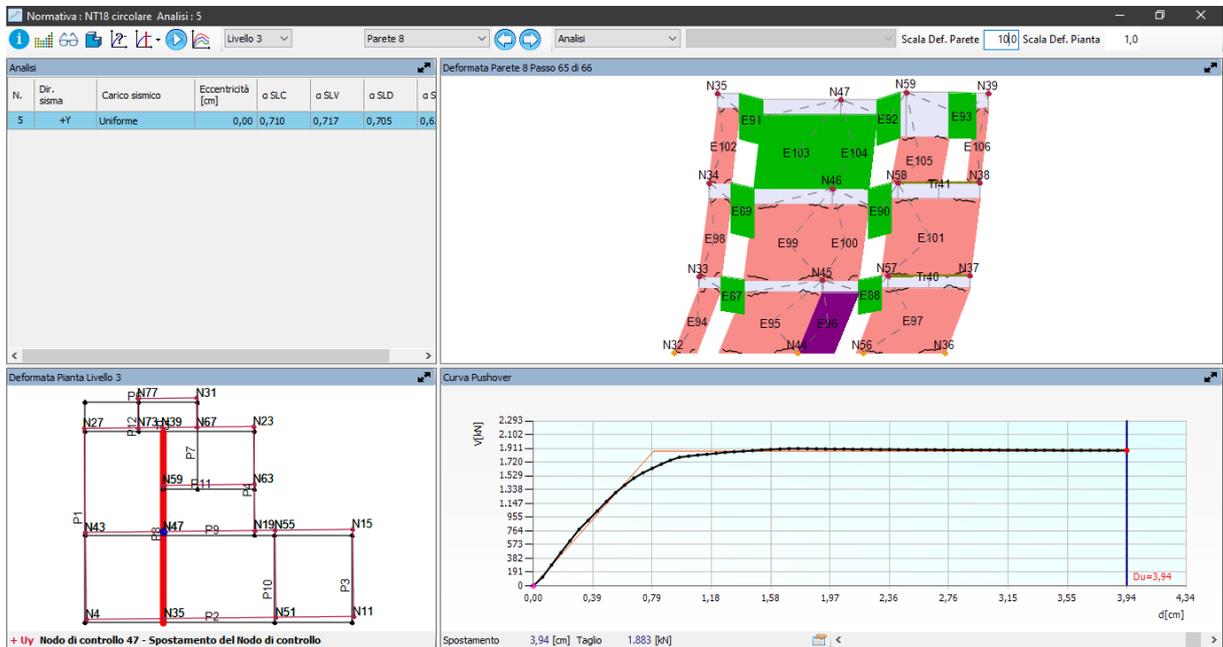
4.3.7.2 Solaio rigido e iniezioni di malta



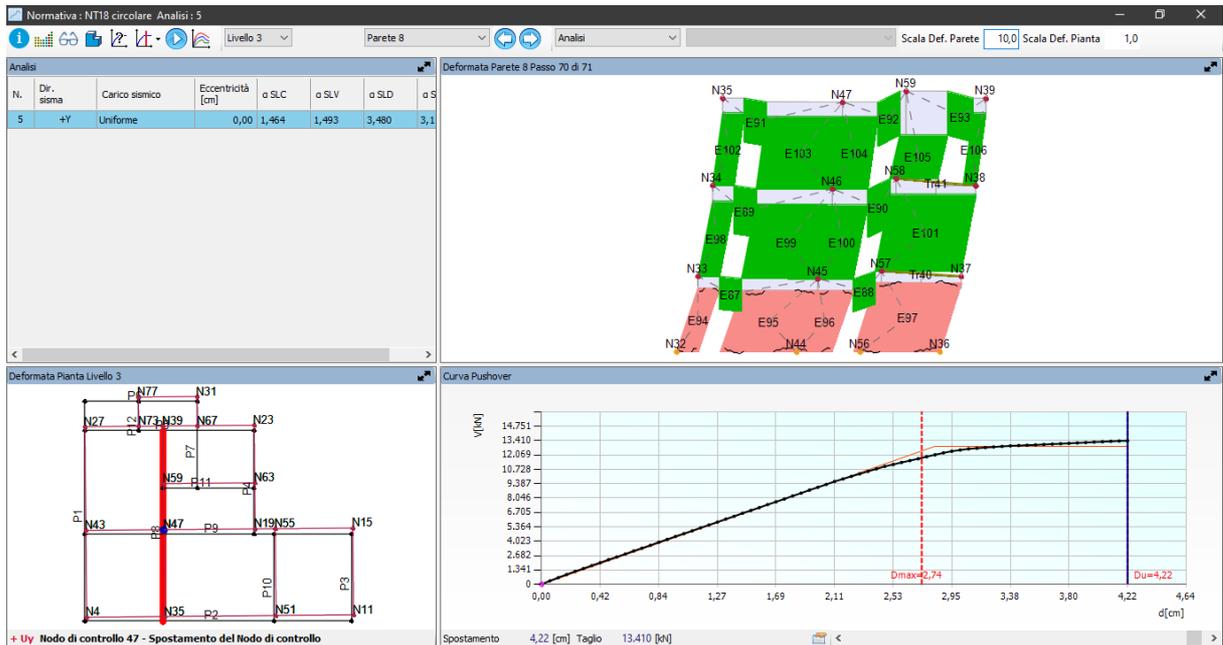
4.3.7.3 Solaio rigido e intonaco armato (rete elettrosaldata)



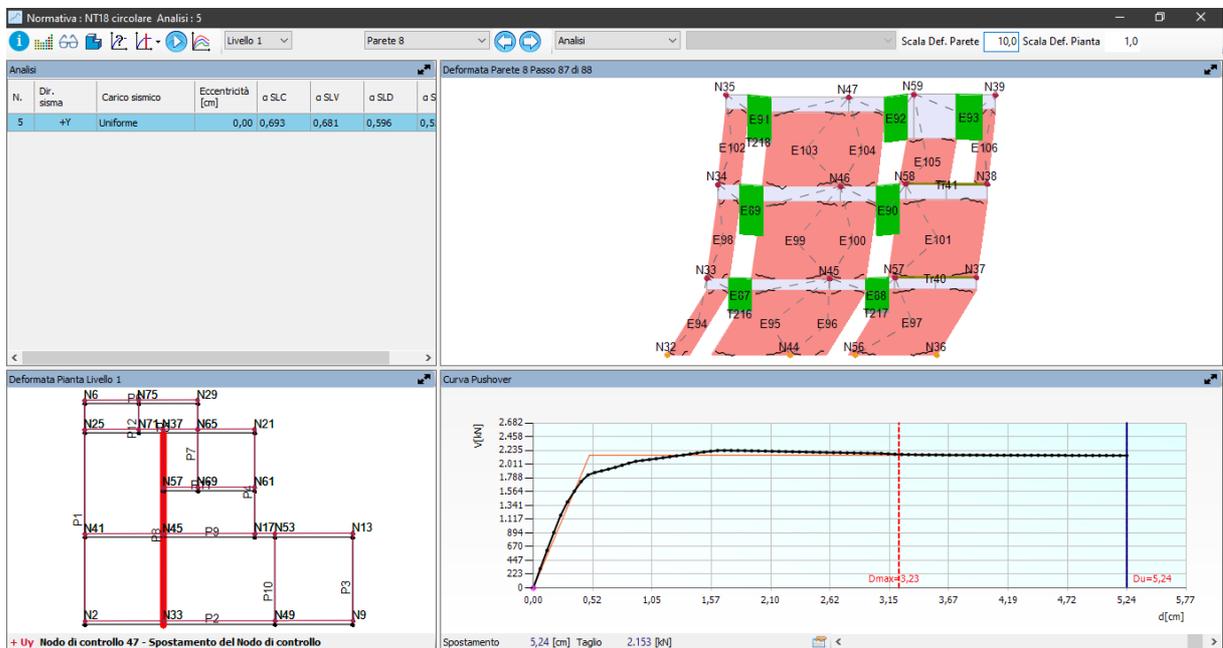
4.3.7.4 Solaio rigido e FRP



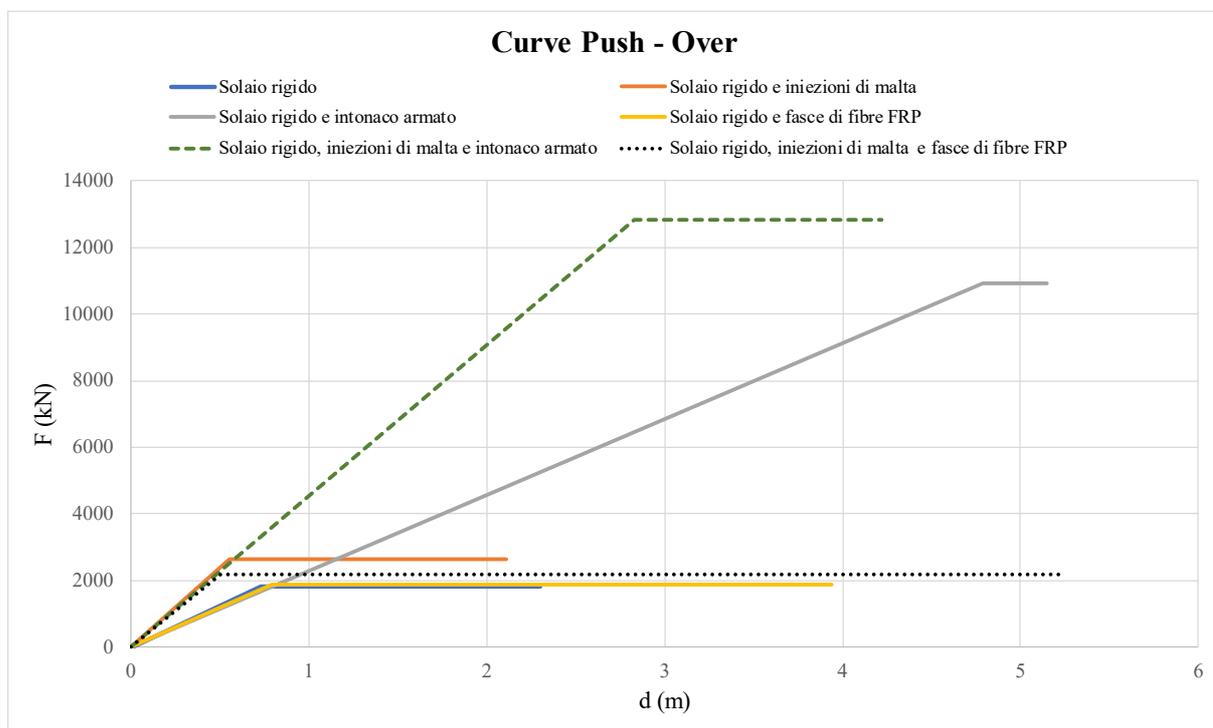
4.3.7.5 Solaio rigido, iniezioni di malta ed intonaco armato (rete elettrosaldata)



4.3.7.6 Solaio rigido, iniezioni di latta e FRP



4.3.7.7 Riepilogo risultati

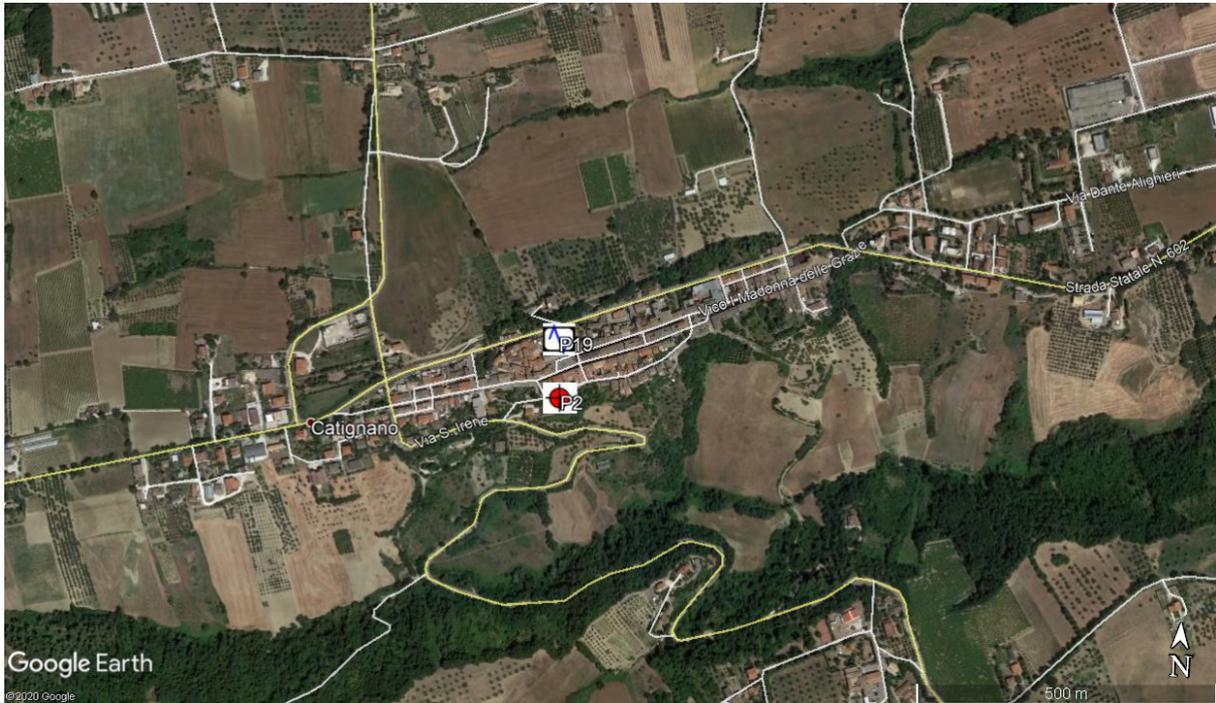


TIPO DI RINFORZO	Bilinearizzata			Limiti di Danno					
	d_y	d_u	F_y	D1	D2	D3	D4=D5	Dmax	μ_D
Solaio rigido	0.73	2.3	1817	0.511	0.803	1.515	2.3	out	D5
Solaio rigido e iniezioni di malta	0.55	2.11	2653	0.385	0.605	1.33	2.11	out	D5
Solaio rigido e intonaco armato	4.79	5.15	10901	3.353	5.269	4.97	5.15	4.55	D2
Solaio rigido e fasce di fibre FRP	0.79	3.94	1874	0.553	0.869	2.365	3.94	out	D5
Solaio rigido, iniezioni di malta e intonaco armato	2.83	4.22	12826	1.981	3.113	3.525	4.22	2.92	D2
Solaio rigido, iniezioni di malta e fasce di fibre FRP	0.5	5.24	2172	0.35	0.55	2.87	5.24	3.23	D4

4.4 RELAZIONE GEOLOGICA

4.4.1 Indagini

Di seguito si riporta la posizione delle prove effettuate per la redazione della relazione geologica-tecnica.



4.4.2 Caratterizzazione Litostratigrafica

Caratterizzazione Litostratigrafica						
Prof. in m	Litologia	Peso di Volume (γ)	Angolo di attrito (φ)	Coesione drenata (C')	Coesione non drenata (Cu)	Velocità onde S (Vs)
0 - 15	Ghiaie	2100 kg/m ³	32° - 37°	-	0	525 m/s
15 -> 50	Limi sabbiosi avana e limi argillosi e/o marnosi grigi passanti ad argille marnose di colore grigio	1960 kg/m ³	25° - 28°	0.05 kg/cm ²	1.0 - 2.75 Kg/cm ²	650 m/s

4.4.3 Stratigrafia

Dott. Geol. Nicola D'Orazio Via I. Silone, 21 66034 - Lanciano (CH) Tel.: 0872.716116	Amm.ne Comunale di Catignano Località: Via Fantacuzzi	SCALA <input type="text" value="1:200"/>	Data <input type="text" value="15.03.2001"/>	Sondaggio n. <input type="text" value="S2"/>
--	--	--	--	--

Attrezzature e metodo di perforazione: Sonda FM 900 - Rotazione a c.c.		LIVELLI ACQUA			
<input type="checkbox"/> Campione rimaneggiato	<input type="checkbox"/> Campione a percussione	<input type="checkbox"/> LEFRANC	PROFONDITA' m		
<input type="checkbox"/> Campione S.P.T.	<input type="checkbox"/> Campione ind. a pressione	Prova di permeabilità		SERA	MATTINO
<input type="checkbox"/> Campione da Vane Test	<input type="checkbox"/> Campione ind. rotativo	<input type="checkbox"/> LUGEON	Rivest.	Foro	
			Data	H	Data H

Quota di riferim. 346	Spessore m	Profondità m	Sezione terreno	Campioni	DESCRIZIONE LITOLOGICA	C a r t i e r e	N i v e s t i m e n t o	P o c k e t	R O D %	V a r i e s i d u o m e s t o	Profondità m	S P T	F a l d a	% c a r o t a g g i o
	2.50	2.50			Materiale di riporto con laterizi, sabbia, ghiaia e ciottoli, limo ed argilla. (Riporto).									
	1.20	3.70			Ghiaia e ghiaino poco elaborato con sabbia debolmente limosa avana-giallastra.		127				3.80			21 25 28
	0.90	4.60			Sabbia fine limosa avana giallastra a tratti grigiastra con intercalazioni centimetriche di sabbia ocra, raro ghiaino e resti carboniosi.						6.00			33 45 >50
	1.40	6.00			Ghiaia e ghiaino 1,0-10,0 cm con sabbia avano-biancastra a tratti rossastra molto addensata o debolmente cementata.									
	1.70	7.70			Limo sabbioso avana e sabbia giallastra a tratti rossastra, orizzonti decimetrici di limo-argilloso-sabbioso grigio-verdastro con concrezioni calcaree, molto consistente.									
	3.30	1.00												
	1.40	2.40			Idem da 4,6 a 6,0 metri						12.60			27 >50 ---
	4.70				Idem da 6,0 a 7,7 m. con frustoli carboniosi e livelletti sabbiosi ocra-rossastri.									
	17.10													
	2.50				Idem da 4,6 a 6,0 m.						18.20			>50 ---
	19.60				Sabbia giallastra debolmente cementata e arenarie con livelli centimetrici debolmente limosi grigio-verdastri e intercalazioni di sabbia rossastra molto addensata.									
	5.40													
	25.00				Marne grigiastre e argilla-marnosa molto consistente con livelletti centimetrici di sabbia giallastra.		101				25.00			100



BIBLIOGRAFIA

- Ferreira, T. M., Vicente, R., Da Silva, J. A. R. M., Varum, H., & Costa, A. (2013). Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: case study of the old city centre in Seixal, Portugal. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *11*(5), 1753–1773.
- Giovinazzi, S., & Lagomarsino, S. (2004). A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, *896*, 1–6.
- Grünthal, G. (1998). *European macroseismic scale 1998*. European Seismological Commission (ESC).