



# Comune di SANTO STEFANO DI MAGRA

Provincia della Spezia

**PROGETTISTA:**

Dott. Ing. MENGHI Antonio  
Via Pecorina n°6 - 19038  
Sarzana (SP)

**COLLABORATORI:**

Dott. Ing. BALBI Fabio  
Dott. Ing. GRECO Marco  
Dott.arch.Pigoni Massimiliano

**R.U.P.**

Arch. RICCO Federico

PROGETTO ESECUTIVO



rev. n°:	data:	descrizione:	visto. app.

Oggetto:

**Adeguamento sismico ed efficientamento energetico  
Scuola elementare "C. Arzelà" - Ponzano Madonnetta**

Descrizione:

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE**

Committente:

**AMMINISTRAZIONE Comunale di S. Stefano di Magra**

FIRMA PROGETTISTA

FIRMA DIRETTORE LAVORI

FIRMA COMMITENTE

## INDICE GENERALE

<b>1 RELAZIONE GENERALE ILLUSTRATIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3 ACQUISIZIONE DOCUMENTAZIONE E ANALISI STORICO CRITICA .....</b>	<b>6</b>
<b>4 PROCESSO CONOSCITIVO DELLE STRUTTURE ESISTENTI .....</b>	<b>11</b>
4.1 Rilievo geometrico d'insieme .....	11
4.2 Rilievo dei dettagli costruttivi .....	12
4.3 Caratterizzazione dei materiali.....	15
4.3.1 Murature Portanti .....	16
4.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza .....	18
4.4.1 Murature Portanti .....	18
4.5 Proprietà dei materiali utilizzati in sede progettuale.....	19
4.5.1 Murature Portanti .....	19
4.5.2 Materiali nuove strutture .....	20
<b>5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>20</b>
<b>6 MODELLO STRUTTURALE .....</b>	<b>22</b>
6.1 Caratteristiche dei modelli di calcolo .....	22
6.2 Azioni elementari di calcolo e analisi dei carichi.....	23
6.3 Combinazioni di calcolo.....	26
<b>7 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DELLA STRUTTURA .....</b>	<b>28</b>
7.1 Analisi sismiche per le verifiche nel piano: .....	28
7.2 Verifiche statiche della muratura .....	29
<b>8 TABULATI DI CALCOLO .....</b>	<b>29</b>
8.1 Verifiche sismiche .....	29
8.2 Norme di riferimento.....	29
8.3 Descrizione dei materiali .....	30
8.4 Geometria del modello.....	31
8.4.1 Elementi di struttura .....	32
8.5 Carichi.....	56
8.6 Spettro da normativa.....	57
8.7 Analisi incrementale a collasso (push-over) .....	58
8.8 Risultati.....	61
8.8.1 Dettaglio verifiche.....	63
8.8.2 Schema planimetrico generale dell'edificio. ....	63
8.8.3 Vista pianta livello 1 .....	64
8.8.4 Vista pianta livello 2 .....	65

8.8.5	Vista pianta Copertura.....	66
8.8.6	Prospettiva aperta .....	67
8.8.7	Prospettiva Modello di calcolo.....	68
<b>8.9</b>	<b>Diagrammi Push-Over risultanti dalle analisi effettuate.....</b>	<b>69</b>
8.9.1	Visualizzazione 3D delle pareti nello stato corrispondente allo spostamento ultimo.....	79
<b>8.10</b>	<b>Verifiche fuori piano.....</b>	<b>83</b>
<b>8.11</b>	<b>Pressoflessione fuori piano .....</b>	<b>91</b>
8.11.1	Metodo di calcolo.....	91
<b>8.12</b>	<b>Dettaglio verifiche .....</b>	<b>92</b>
<b>8.13</b>	<b>Verifica statica.....</b>	<b>95</b>
<b>8.14</b>	<b>Verifica copertura .....</b>	<b>102</b>
<b>8.15</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>108</b>
<b>9</b>	<b>SINTESI ED ATTENDIBILITÀ DEI RISULTATI .....</b>	<b>109</b>
<b>1</b>	<b>RELAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>110</b>
<b>1</b>	<b>ELABORATI GRAFICI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI.....</b>	<b>111</b>
<b>1</b>	<b>RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA.....</b>	<b>112</b>

## Relazione di Calcolo Strutturale

### 1 RELAZIONE GENERALE ILLUSTRATIVA

La presente relazione di calcolo strutturale si riferisce al progetto di adeguamento sismico dell'edificio sede della scuola Elementare "C. Arzelà" nel comune di Santo Stefano di Magra Località Ponzano Madonnetta (SP) (Vista 1.1).



Vista 1.1 – Inquadramento geografico dell'edificio oggetto di verifica

La scuola elementare, oggetto di adeguamento, appare allo Stato Attuale come composta da due volumi (Figura 1.1). separati tra loro da un giunto tecnico, il primo volume, che chiameremo per semplicità

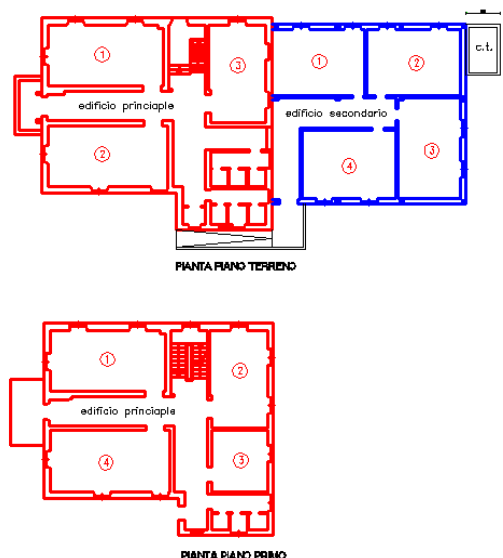


Figura 1.1 – Planimetrie del fabbricato oggetto di verifica sismica

(piano terra in alto – piano primo in basso) in rosso l'edificio principale mentre in blu quello secondario



“edificio principale” è costituito da un edificio in muratura a due piani fuori terra e copertura a padiglione, il secondo volume, costruito successivamente in ampliamento, che chiameremo per semplicità “edificio secondario”, è costituito da un edificio ad un solo piano fuori terra con copertura piana e realizzato in struttura in cemento armato; l'edificio secondario non sarà oggetto di interventi dato che dal punto di vista di sismico è in migliori condizioni rispetto al primo.

Sono stati eseguiti, in sede di verifica sismica, una serie di sopralluoghi finalizzati al rilievo geometrico dell'edificio ed alla verifica dello stato di conservazione delle strutture, compresa la valutazione dello stato fessurativo esistente. Si sono analizzati i pochi e incompleti elaborati reperiti presso l'archivio comunale e si è effettuato un rilievo strutturale completo che hanno consentito di ricostruire l'evoluzione storica critica dell'edificio. Sono state inoltre condotte indagini sperimentali sulle murature dell'edificio principale tramite il rilievo del carico di esercizio e di rottura della porzione esaminata con tecnica del martinetto piatto singolo e doppio; quest'ultime prove di tipo distruttivo sono state poi integrate da ulteriori prove eseguite su blocchi di muratura estratto dalla scuola e l'utilizzo di dati di letteratura ha portato a valori più consoni di resistenza della muratura in blocchi forati riscontrata.

Per conseguire l'adeguamento sismico desiderato, partendo dallo stato attuale, si sono previsti gli interventi strutturali qui di seguito sinteticamente illustrati (Figura 1.2):

Al fine di ovviare alle carenze riscontrate sotto carico sismico si prevede:

- di realizzazione un rinforzo corticale mediante intonaco armato con rete preformata in GFRP, maglia 66x66 mm, con barre costituite da fibre di vetro lunghe alcalino-resistenti impregnate con resina termoindurente di tipo epossidicovinilestere; Malta di calce idraulica naturale CS IV M=15Mpa (rappresentate in colore blu nella Figura 1.2 - INTERVENTO TIPO 1)
- di inserire n. 1 nuova parete in mattoni pieni (rappresentate in colore giallo nella Figura 1.2) affiancata all'esistente in mattoni pieni e malta di calce previo demolizione dell'intonaco esistente ed ammorsatura tramite l'inserimento di diatoni realizzati con la stessa muratura in numero di 5/mq (INTERVENTO TIPO 2);
- di demolire i setti murari a 1 o 2 teste in mattoni pieni isolati a sostegno della copertura in legno e di realizzare un nuovo reticolo di muri in blocchi forati tipo Poroton P800 s=25 collegati da cordolo in ca costituito da CLS Alleggerito tipo LC40/44 (INTERVENTO TIPO 3)
- di realizzare una nuova cerchiatura in profilati metallici affiancati (3HE100A) di acciaio S235 (INTERVENTO TIPO 4);

- di alloggiare n. 7 nuovi architravi in profilati (3HE100A) di acciaio S235 (INTERVENTO TIPO 5);
- di realizzare una nuova copertura in travi tralicciate di acciaio di altezza variabile antisismica (INTERVENTO 6)
- di realizzare un nuovo cordolo di gronda in ca alleggerito LC40/44

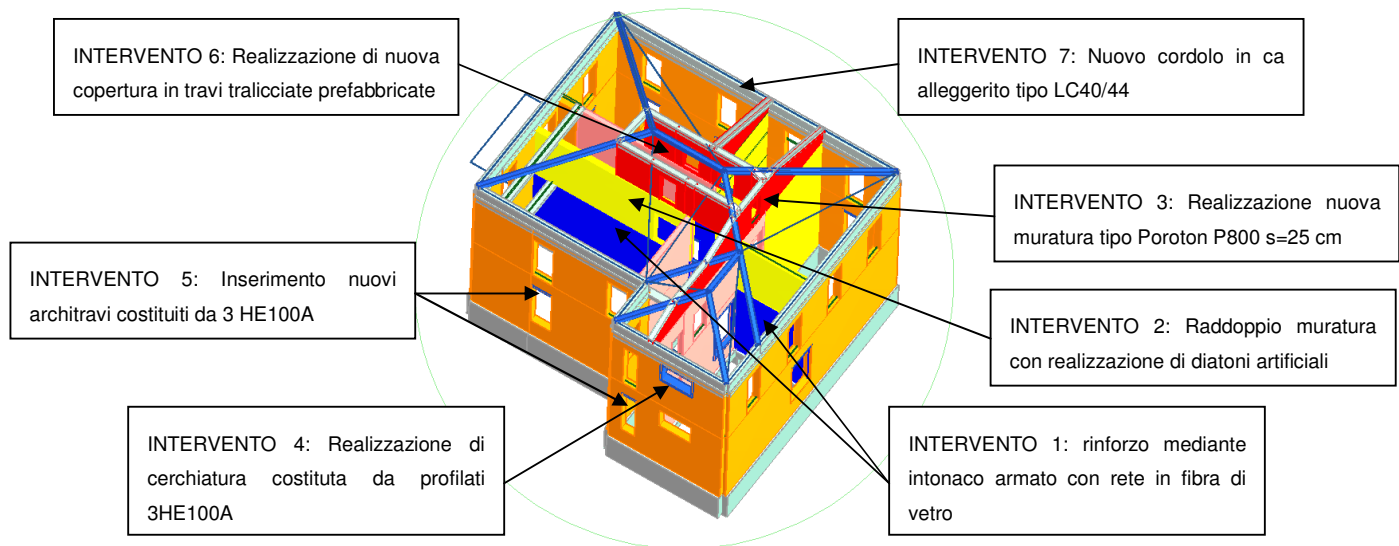


Figura 1.2 – Assonometria modello di calcolo con indicazione degli interventi di adeguamento

Per ulteriori dettagli sugli interventi previsti si rimanda ai paragrafi successivi ed agli elaborati grafici del presente progetto definitivo.

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento è stato eseguito in conformità alle vigenti Norme Tecniche emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici del D.P.R. 06/06/01 n.380, tenendo presenti le caratteristiche, le qualità e le dosature dei materiali da impiegarsi nelle opere da costruire.

In particolare la valutazione dei carichi e dei sovraccarichi ed i calcoli degli elementi in C.A. ed in acciaio sono stati eseguiti secondo quanto indicato nel D.M. Infrastrutture 17/01/2018: “*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*”, osservando altresì, laddove non in contrasto con tale decreto, le “*Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni*” di cui al precedente DM Infrastrutture 14 gennaio 2018, emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

I calcoli sismici sono stati effettuati in osservanza alla Legge 2 febbraio 1974 n.64: “*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*”, al D.M. Infrastrutture 17/01/2018:

“Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” e, laddove non in contrasto con tale decreto, alle “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni” di cui al precedente D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008, emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

In accordo con quanto riportato al par.8.3 del D.M. Infrastrutture 17/01/2018, si precisa che la valutazione della sicurezza relativa alla struttura esistente è stata eseguita, in ambito statico, nei confronti del solo Stato Limite Ultimo, mentre in ambito sismico è stata estesa sia agli Stati Limite Ultimi (Stato Limite di salvaguardia della Vita e di Collasso) sia agli Stati Limite di Esercizio (Stato Limite di Danno e di Operatività). Occorre precisare che ai sensi del punto 8.3 D.M. Infrastrutture 17/01/2018 per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), pertanto l’edificio risulta adeguato anche solamente nel rispetto di uno solo dei due SLU simili.

Secondo quanto previsto al punto 8.3 delle NTC 2018 e al par. C8A.5.11 della ‘Circolare Esplicativa’ al previgente D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008, sono state omesse le verifiche geotecniche delle fondazioni esistenti in quanto risultano contemporaneamente soddisfatte le seguenti condizioni:

- ✓ assenza di importanti dissesti di qualsiasi natura attribuibili a cedimenti delle fondazioni ed è stato accertato che dissesti della stessa natura non si sono prodotti nel passato;
- ✓ assenza di interventi tali da comportare sostanziali alterazioni dello schema strutturale del fabbricato o modificazioni delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni;
- ✓ esclusione di potenziali fenomeni di ribaltamento della costruzione per effetto delle azioni sismiche.
- ✓ esclusione di possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli o di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni;
- ✓ esclusione di possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

### **3 ACQUISIZIONE DOCUMENTAZIONE E ANALISI STORICO CRITICA**

In sede di verifica di vulnerabilità è stato reperito dall’Amministrazione Comunale e messo a disposizione dello scrivente progettista una serie di documenti che ha consentito di ricavare informazioni sufficienti sia di carattere storico che di carattere tecnico.

Non sono state rinvenuti documenti relativi al progetto dell’edificio principale negli archivi provinciali,

in quanto, vista la probabile datazione dell'edificio intorno ai primi anni del 900 e la tipologia dell'edificio (muratura) non vi era a suo tempo l'obbligo di deposito. Ma è stato reperito documentazione relativa ad interventi e perizie compiute dal 1953 al 1965 oltre alla documentazione realizzata e già consegnata di verifica sismica intervento locale di miglioramento sismico e realizzazione di quest'ultimi interventi sempre dallo scrivente in data 2017.

### **1. Lesioni e avvallamenti solaio scuola in data 9 ottobre 1953**

Un funzionario del Genio Civile della Spezia con un tecnico del comune hanno appurato che il fabbricato presenta lesioni ai muri perimetrali causate da cedimento del terreno e che il pavimento di un'aula del piano superiore presenta un avvallamento in corrispondenza della parte mediana, causata dalla conseguente demolizione di una sottostante tramezza in muratura di mattoni effettuata anni addietro al fine di sistemare ad aula scolastica i locali del piano terreno. Si precisava che era necessario che il Comune desse incarico per effettuare una prova di carico sui solai al fine di stabilire l'idoneità o meno ad essere assoggettato a sopportare il sovraccarico utile stabilito dalle norme per le aule scolastiche.

### **2. Relazione sui cedimenti dall'edificio alla data del 25 settembre 1955**

Dal sopralluogo effettuato dall'Ing. Itto Nelli alla presenza del Sindaco e del Vice Sindaco è risultato che le lesioni di cui alla relazione del 9 ottobre 1953 si sono notevolmente allargate.

L'ing. Itto Nelli suggeriva di eseguire i seguenti provvedimenti immediati:

1) sgomberare tutti gli ambienti situati nella zona del cedimento e cioè: le aule n°2 del P.T. e del P.1. adiacenti al poggiolo, l'aula al P.1. e i vani sottostanti del P.T. compresi fra il vano scale e il lato Nord-Est ed infine i corridoi di accesso a dette aule.

2) puntellare i solai delle aule suddette, i muri soggetti a cedimento e sbadacchiare le porte e le finestre aperte in detti muri.

L'ing. Itto Nelli suggeriva i provvedimenti da prendere in secondo tempo:

3) procedere ai lavori di sottomurazione della fondazione fino alla profondità necessaria da accertare in sede di esecuzione dei lavori.

4) eseguire adeguate prove di carico sui solai investiti dal cedimento onde accertare se sono ancora idonei a sopportare il sovraccarico utile stabilito dalle norme scolastiche.

5) rendere impermeabile la soletta di copertura.

6) eseguire tutti i lavori di riparazione dei danni provocati dal cedimento.

La reazione a firma dell'Ing. Itto Nelli è del 26 settembre 1955.

### 3. Relazione sul progetto di riattamento ed ampliamento dell'edificio scolastico

Premesso che con nota del 20 ottobre 1953 veniva incaricato l'Ing. Itto Nelli di effettuare prove di carico su alcuni solai dell'edificio, prove prescritte dal Genio Civile della Spezia con lettera del 9 ottobre 1953 in seguito a sopralluogo dello stesso Ufficio effettuato a richiesta del Sindaco.

In seguito al risultato favorevole delle prove eseguite, l'Ing. Itto Nelli ne dava atto nella relazione rimessa al Comune in data 19 novembre 1953 mettendo in avviso lo stesso Comune sulla opportunità di sorvegliare il cedimento dell'edificio già rilevato dall'ufficio del Genio Civile. Nel settembre del 1955 il Sindaco, in considerazione dell'aggravarsi di alcune lesioni, richiedeva nuovamente l'intervento dell'Ing. Itto Nelli per controllare le condizioni statiche dell'edificio. in seguito a nuovi accertamenti il tecnico accertava che il cedimento dell'edificio si era notevolmente aggravato per cui con relazione rimessa al Sindaco in data 26 settembre 1955, precisava i provvedimenti immediati da prendere e precisamente lo sgombero di una parte dello stabile, puntellamento della parte interessata dal cedimento. Successivamente in data 21 ottobre 1955 con lettera n°674 di prot. il Sindaco comunicava al tecnico che con delibera del Comune n°290 del 29 settembre 1955 gli era stato conferito l'incarico di redigere perizia dei lavori di consolidamento e riattamento dell'edificio in oggetto. Il tecnico prescriveva la seguente sequenza di lavorazioni:

- 1) puntellamento dei solai, dei muri e sbadacchiamento delle aperture
- 2) esecuzione delle opere di sottofondazione, scavi e murature nell'ordine indicato come da disegno allegato (allegato n°7)
- 3) muratura per la prevista chiusura di alcune finestre e costruzione delle spallette delle nuove finestre intersecanti le preesistenti
- 4) demolizione delle parti di solaio previste, del muro esterno (parte rientrante della facciata) e delle pareti interne indicate nei disegni allegati
- 5) costruzione di nuovi muri e ingrossamento di altri muri fino al piano primo
- 6) ricostruzione delle parti di solaio demolite al primo piano
- 7) aperture delle nuove finestre e costruzione delle relative spallette e degli architravi
- 8) prova di carico sui solai del piano primo
- 9) costruzione di nuovi muri dal primo piano alla soletta di copertura e delle parti di soletta demolite o nuove
- 10) prova di carico sulla soletta di copertura.



#### **4. Prova di carico sui solai**

In esecuzione dell'incarico conferito con nota del 20 ottobre 1953 , prot. 8154 il tecnico Ing. Itto Nelli produceva in data 19 novembre 1953 relazione di verbale di collaudo relativo alle prove di carico. Dal confronto delle frecce effettive dell'ordine di 0,93 mm con la freccia teorica dell'ordine di 3,16 mm e delle frecce permanenti con le corrispondenti elastiche osservate, il tecnico ha concluso sulla bontà del risultato ed ha ritenuto superfluo ripetere le prove su altre porzioni di solaio. Il tecnico ha ritenuto pertanto di far riprendere, senza limitazioni, la regolare attività scolastica, mettendo in evidenza che saltuariamente controllare il cedimento del fabbricato al fine di accertare se lo stesso fosse realmente cessato come risulta allo stato attuale.

#### **5. Progetto in data 20/1/1956**

Redatto dall'Ing. Itto Nelli, incaricato dal Comune ed approvato dal Provveditorato Regionale OO.PP per la Liguria con D.P. 4698 del 16/3/1957 per importo complessivo di £. 7.000.000

#### **6. Perizia suppletiva in data 9/6/1958**

Redatta dall'Ing. Itto Nelli con maggiore spesa di £. 1.168.660, approvata dal Provveditorato Regionale OO.PP per la Liguria con nota 22849/627 del 24/1/1959.

La consegna dei lavori di perizia ha avuto luogo il giorno 5 luglio 1960

L'ultimazione dei lavori ha avuto luogo in data 5 agosto 1960 (in tempo utile)

Il certificato di regolare esecuzione in data 6 agosto 1960.

Questa perizia si riferisce alla costruzione del tetto per lo stato di degrado e di infiltrazioni rilevate nella soletta di copertura. La grossa armatura del tetto è in castagno e così pure i travicelli mentre i listelli sono in abete. E' stata prevista la costruzione di alcuni pilastri e setti in mattoni con malta cementizia.

#### **7. Esecuzione dei lavori**

Nella licitazione privata tenuta il 15 novembre 1957 venivano affidati i lavori all'impresa Geom. Mario Gerini, Viale XX Settembre località Fossola di Carrara.

#### **8. Contratto**

Il giorno 10 marzo 1958, n°464 e registrato all'Ufficio del Registro di Sarzana in data 22 marzo 1958 al n°886 - vol. 134

#### **9. Atto aggiuntivo**

Per i lavori relativi alla perizia suppletiva venne redatto l'atto aggiuntivo in data 9 febbraio 1959, n°551

e registrato all'Ufficio del Registro di Sarzana in data 19 febbraio 1959 al n°864 - vol. 135, con la fissazione di n°8 Nuovi Prezzi e con la proroga di 30 giorni dall'ultimazione dei lavori.

#### **10. Direzione Lavori**

A cura dell'Ing. Itto Nelli con Alta Sorveglianza da parte del genio Civile della Spezia.

#### **11. Consegna dei lavori**

Il giorno 15 aprile 1958.

#### **12. Ultimazione dei lavori**

Il giorno 18 febbraio 1959 come da verbale del 20 febbraio 1959 (in tempo utile).

#### **13. Stato finale**

Rilasciato dal Direttore dei Lavori Ing. Itto Nelli in data 18 febbraio 1959 e approvato dal Genio Civile della Spezia in data 22/7/1959.

#### **14. Collaudo (ing. Giuseppe Miari)**

Con nota del Provveditorato Regionale OO.PP per la Liguria n°12321 del 3/8/1959 veniva incaricato del collaudo l'ispettore generale del genio Civile a riposo Ing. Giuseppe Miari.

La visita veniva fatta in data 27 novembre 1959 con il rappresentante del Genio Civile della Spezia Dott Ing. Antonino Ribaudo e Geom. Gennari Mauro, con il rappresentante del Comune Sig. Giannoni Mario (consigliere comunale), del direttore dei Lavori Ing. Itto Nelli e con il titolare dell'Impresa Geom. Mario Gerini.

Nella relazione di collaudo si fa riferimento ai danni per cedimento fondazioni (riparato prima del 18 febbraio 1959), durante l'inverno 1958-1959 e nel corso dell'estate decorsa non ha più dato segni di movimento, facendo presumere che le opere di consolidamento eseguite hanno raggiunto lo scopo per cui furono progettate ed eseguite.

Veniva redatto il certificato di collaudo statico - amministrativo in data 30/11/1959.

#### **15. Collaudo (ing. Lorenzo Parodi)**

Lavori di completamento dell'edificio scolastico in Ponzano Magra, loc. Madonnetta.(riguardano essenzialmente intonaci esterni, tinteggiature, canale di gronda, realizzazione di marciapiede)

Impresa Geom. Mario Gerini di Carrara.

Contratto in data 12 febbraio 1963 n°829 di rep., registrato a Sarzana il 27 febbraio 1963 al n°869, vol.

142

Progetto redatto dall' Ing. Itto Nelli in data 17 dicembre 1961, approvato dal Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per la Liguria in data 9 agosto 1962 con decreto n°12823

I lavori sono stati diretti dall' Ing. Itto Nelli.

consegna lavori in data 10 giugno 1963

Ultimazione dei lavori in data 8 luglio 1963 come da verbale in data 10 luglio 1963 (tempo utile).

Stato finale redatto dalla D.L. in data 20 settembre 1963.

Con nota del 29 dicembre 1964 n°25142 veniva incaricato dal provveditorato Regionale alle OO.PP. per la Liguria del collaudo l'Ing. Lorenzo Parodi.

Visita di collaudo in data 18 marzo 1965.

Alla visita erano presenti: Geom. Ugo Guerrizio dell'Ufficio del Genio Civile della Spezia; Sig. Renato Mazzoni nelle vesti di Sindaco del Comune; Geom. alfonso Del Bianco in rappresentanza dell Ing. Itto Nelli assente perchè ammalato; Geom. Mario Gerini titolare dell'impresa.

Veniva redatto il certificato di collaudo amministrativo in data 18/03/1965.

## **4 PROCESSO CONOSCITIVO DELLE STRUTTURE ESISTENTI**

In osservanza a quanto riportato al punto 8.5.2 del D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 e al corrispondente punto C8.5.2 della "Circolare Esplicativa" di cui al previgente D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008, sulle opere oggetto della preliminare verifica è stato condotto il processo conoscitivo relativo alla geometria d'insieme, ai dettagli costruttivi e alle proprietà dei materiali impiegati.

### **4.1 RILIEVO GEOMETRICO D'INSIEME**

Con riferimento alla prima fase del processo conoscitivo, relativa al rilievo geometrico d'insieme, in accordo con il dettato normativo è stato eseguito un *rilievo di dettaglio* in quanto pur essendo a disposizione dello scrivente tecnico gli *originali disegni strutturali relativi ai soli interventi di rinforzo*, gli stessi da un esame visivo a campione non erano completi delle strutture in elevazione e non erano perfettamente rispondenti al reale stato dei luoghi.

Si è proceduto, durante la campagna di verifica della vulnerabilità sismica (ed ivi meglio descritte tutte le indagini effettuate) allo scrostamento dell'intonaco nelle zone ritenute più significative (muri perimetrali e muri di spina) prestando particolare attenzione alla determinazione dello spessore strutturale dei setti.

Il rilievo così effettuato aveva consentito di individuare precisamente il sistema murario portante, la dimensione dei maschi e delle fasce murarie e degli elementi resistenti in c.a. ed acciaio (travi, cordoli e architravi presenti).

#### 4.2 **RILIEVO DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI**

La seconda fase del processo conoscitivo, incentrata sul rilievo geometrico dei dettagli costruttivi (murature, cordoli, solai, ecc.), è stata condotta in accordo con il dettato normativo al fine di conseguire lo status di *estese verifiche in situ*.

L'edificio principale si compone di cinque vani al piano terra e cinque vani al piano primo, di questi, tre vani al piano terra e quattro vani al piano primo sono adibiti ad aule scolastiche mentre gli altri vani costituiscono servizi accessori.

I vani al piano terra sono disimpegnati da un corridoio centrale di larghezza circa 2,00 m a cui si accede dall'ingresso principale e da un corridoio normale al precedente che consente di accedere da un lato al vano scala, che conduce al piano interrato e al piano primo, e dall'altro lato di accedere sia alla zona servizi che alle aule dell'altro corpo.

Sul lato Ovest dell'edificio sia al piano terra che al piano primo sono posizionati i corpi servizi igienici, al piano terra ovviamente hanno una superficie maggiore in quanto devono essere utilizzati anche dagli alunni disposti nell'edificio secondario che ne è sprovvisto.

Nel piano interrato sono stati realizzati due vani aventi funzione di deposito, anche se i locali sono provvisti di due piccole finestrate, si presentano in pessimo stato dal punto di vista della salubrità.

In seguito a cedimenti verificatisi in itinere veniva eseguita una perizia, da parte dell'ing. Itto Nelli, che individuava la causa dei cedimenti nel terreno di riporto per cui si stabiliva di effettuare lavori di sottofondazione e sottomurazione delle murature portanti fino a raggiungere l'argilla compatta ad una profondità media di circa 2,2 m (cioè fino alla quota delle fondazioni del piano interrato).

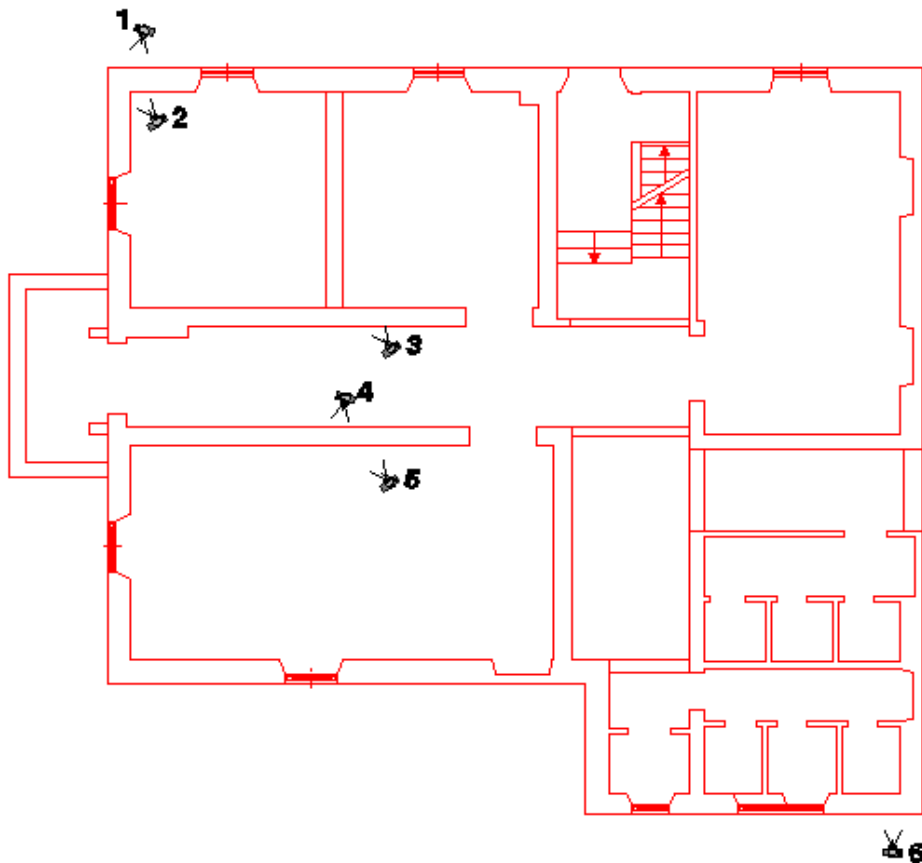
Si stabiliva, inoltre, un rafforzamento di alcune pareti interne in mattoni pieni (da una a due teste), la realizzazione di nuove pareti sempre in mattoni pieni ad una testa ed infine vari lavori distributivi e funzionali.

A causa di carenza di aule, il corpo principale veniva ampliato realizzando un nuovo volume, eseguito nella parte Sud, costruito intorno al 1977, volume disgiunto dal fabbricato principale attraverso un giunto tecnico, e consistente in un solo piano fuori terra realizzato con struttura portante in cemento armato e venivano ricavate quattro aule.

Figura 4.1 – Planimetria con indicati i punti di indagine al piano terra

Si riporta di seguito un elenco delle prove eseguite rimandando all' elaborato dalla ditta “ 4 EMME Service S.p.A.” di Genova allegata alla verifica di vulnerabilità sismica a cui è stato affidata l'intera attività di indagine e la determinazione dei valori delle resistenze dei materiali, per maggiori dettagli:

- scrostamento dell'intonaco nelle zone ritenute più significative con duplice funzione sia di rilievo dei dettagli costruttivi (tessitura muraria, grado di ammorsamento, consistenza della malta), sia di identificazione della tipologia muraria e quindi, indirettamente, di stima delle relative proprietà



meccaniche.

- Prova con martinetto piatto doppio
- Saggio sulla muratura in blocchi forati con asportazioni di alcuni elementi per la successiva prova di rottura in laboratorio (quest'ultima ad integrazione delle precedenti prove eseguita dalla ditta Edilizia Giliberti e con prova eseguita dal Laboratorio Delta con sede a Lucca allegato alla presente relazione);
- Saggio sui solai per determinare la geometria e la struttura dei solai



Alla luce di quanto rilevato si è constatato che (Figura 4.2 – Figura 4.3 ):

- 1) i muri perimetrali sono in blocchi di dimensioni di 24x24x12 con foratura orizzontale posti in opera a tre teste per i due piani (sp.38 cm);
- 2) i muri interni prospicienti il corridoio centrale sono costituiti da un foglio di muratura in forati affiancata ad una in mattoni pieni a due teste (sp. 38÷40 cm), le altre murature interne erano in mattoni pieni ad una testa che l'intervento di miglioramento sismico ha già trasformato in murature a due teste (sp. 28 cm);
- 3) gli orizzontamenti si presentano di diversa tipologia in funzione del piano, in particolare:
  - a) Il piano terra dell'edificio risulta sopraelevato di circa 50 cm rispetto al piano di campagna mediante un vespaio in pietrame,
  - b) Il solaio del piano terra e del piano primo risultano in travetti affiancati tipo SAP mentre la copertura dalle indagini effettuate dalla Sicuring srl il 29 Febbraio 2016 risultano essere in travetti prefabbricati con interposti tavelloni e cappa di cm 3 del tipo Varese.
  - c) La copertura è costituita da orditura principale e secondaria in legno massiccio posta in opera a padiglione e poggiante su pilastri e setti isolati in muratura di mattoni pieni.

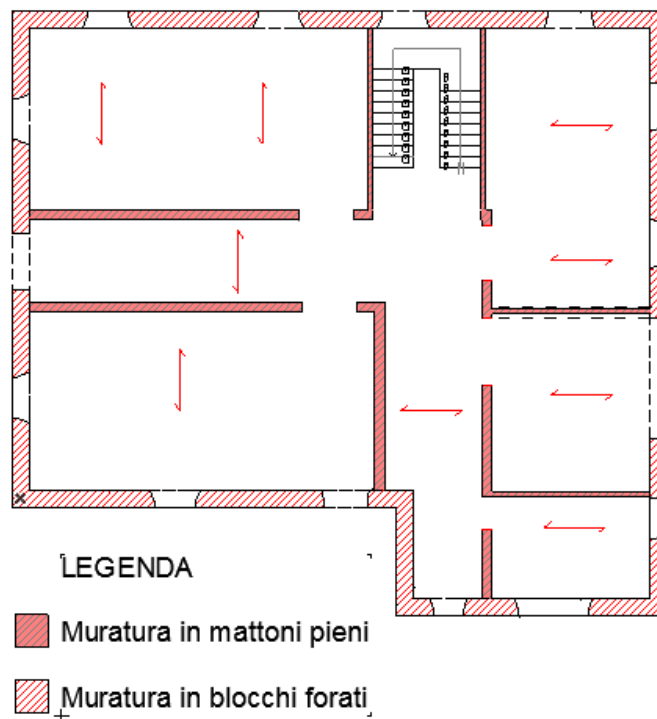


Figura 4.2 – Evidenze emerse in sede di rilievo dei dettagli (piano terra)

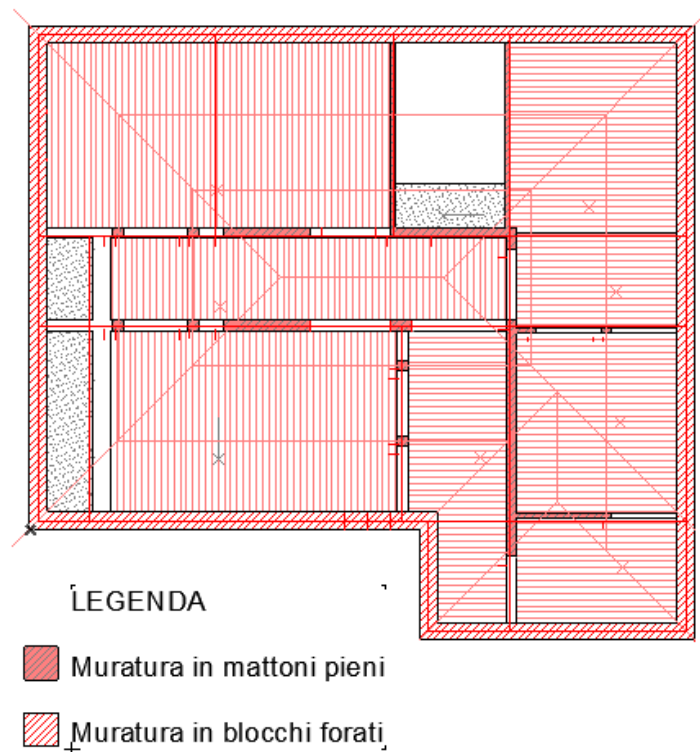


Figura 4.3 – Evidenze emerse in sede di rilievo dei dettagli (piano primo)

Non sono invece stati rilevati elementi di carattere “non strutturale” ad elevata vulnerabilità e tali da interferire con il comportamento della struttura sottoposta all’azione sismica.

#### 4.3 **CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI**

La campagna di indagini, a carattere maggiormente specialistico, che è stata condotta dalla ditta “ 4 EMME Service S.p.A.” di Genova con lo scopo prevalente di determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali, è stata condotta tramite l'esecuzione, in prima battuta, di una prova con martinetto piatto doppio sulla muratura perimetrale. (si rimanda al rapporto tecnico allegato al progetto di verifica sismica per maggiori dettagli sulle risultanze ottenute).

Si riporta nella successiva Figura 4.4 un quadro grafico d’insieme delle indagini eseguite:

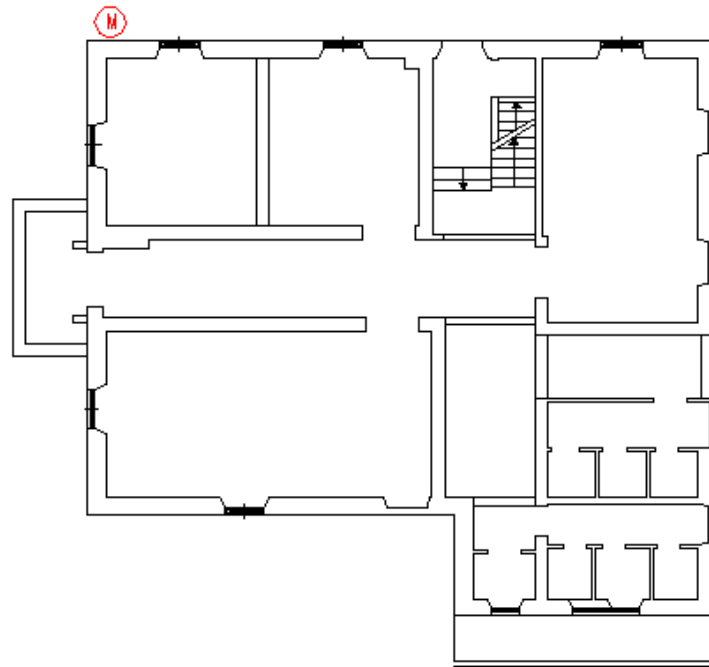


Figura 4.4 – Planimetria indagini a cura di “4 EMME” al piano terra

Si delinea qui di seguito un elenco delle indagini svolte come propedeutiche per la caratterizzazione dei materiali, rimandando al successivo par. 4.3.1 per quanto riguarda i risultati ottenuti durante le prove meccaniche.

1. scrostamento dell’intonaco e realizzazione di prova con martinetto piatto doppio per la stima delle relative proprietà meccaniche:
  - **M.**

Si rimanda inoltre al sopra richiamato “Rapporto Tecnico” a cura di “4 EMME” e al "Certificato n°3727 del 20/09/2018" a cura del "Laboratorio DELTA" per ogni altro dettaglio in merito.

#### **4.3.1 MURATURE PORTANTI**

Per la caratterizzazione meccanica dei materiali si è fatto riferimento al capitolo “C8A.1.A costruzioni in muratura: dati necessari e identificazione del livello di conoscenza” e in particolare a quanto indicato al punto “C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali”.

Si sono effettuate in maniera estesa e sistematica saggi superficiali dei paramenti con eliminazione dell’intonaco nelle posizioni giudicate più significative ai fini statici (innesti di muratura ortogonali, paramenti di particolare valenza strutturale etc.) e sono state eseguite due prove di caratterizzazione del comportamento meccanico (prova con martinetto piatto doppio – prova M ).

Con riferimento a tali prova, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dal martinetto piatto doppio si sono determinati i seguenti valori:

- Resistenza compressione:  $f_m = 84 \text{ N/cm}^2$ ;
- Modulo elastico longitudinale:  $E = 180.0 \text{ N/mm}^2$ .

La prova con martinetto ha dato appunto come risultato che aumentando il carico si è raggiunto il limite elastico della malta a circa 10 bar sul manometro (pari a  $8,17 \text{ daN/cm}^2$ ) con una tensione di rottura quindi pari a  $f_m = 84,0 \text{ N/cm}^2$  ed un modulo elastico medio normale  $E = 180,00 \text{ N/mm}^2$ . Tali valori sono risultati inferiori a qualsiasi valore riportato in Tabella C8A.2.1 della ‘Circolare Esplicativa’; per cui si è deciso, visto i valori poco plausibili (ritenuti a favore di sicurezza per una verifica di vulnerabilità sismica) dato che la rottura è avvenuta per instabilizzazione delle cartelle sottoposte ad un carico eccentrico, di effettuare altra campagna di indagine tramite rimozione di n°6 blocchi e rottura degli stessi in laboratorio analisi mediante compressione (si rimanda al certificato n°3727 del 20/09/2018); i risultati sono stati molto soddisfacenti con valore medi di resistenza pari a  $18,9 \text{ N/mm}^2$ ; dato che le prove a compressione sono state eseguite dal laboratorio analisi parallelamente ai fori invece che perpendicolarmente tali valori sono da considerarsi come :

- Resistenza trasversale dei blocchi:  $f_{vm} = 18,9 \text{ N/mm}^2$

da cui valutando circa 1/5-1/6 la resistenza del blocco ortogonalmente ai fori: si ottiene

- $f_{bm} = 3.25 \text{ N/mm}^2$  da cui  $f_{bk} = 2.60 \text{ N/mm}^2$
- Entrando in tabella 11.10.VI considerando una malta tipo M2.5 si ottiene:
- $f_k = 165 \text{ N/cm}^2$
  - $f_m = 206 \text{ N/cm}^2$
  - $E = 1650 \text{ N/mm}^2$
  - $G = 660 \text{ N/mm}^2$
  - $f_{vlim} = 0.6 \text{ N/mm}^2$

2. Per la muratura in mattoni pieni e malta di calce :

Si sono definite 3 tipologie differenti di muratura relative ai diversi tipi di rinforzi introdotti:

- a. Muratura in mattoni pieni e malta di calce esistente (LC1 allora  $FC=1.35$ ) a due teste ammorsata trasversalmente (parametro miglioramento connessione trasversale = 1.3)
- b. Muratura in mattoni pieni e malta di calce esistente (LC1 allora  $FC=1.35$ ) a una testa raddoppiata tramite inserimento di diatoni artificiali (parametro miglioramento connessione trasversale = 1.3 e malta buona = 1.5)
- c. Muratura in mattoni pieni e malta di calce esistente (LC1 allora  $FC=1.35$ ) a due teste ammorsata trasversalmente rinforzata mediante intonaco armato (parametro miglioramento malta buona = 1.5 ed intonaco armato = 1.5)

Di seguito la Tabella C8A.2.1 della ‘Circolare Esplicativa’ da dove si sono presi i valori della muratura in mattoni pieni e malta di calce:

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Si rimanda al successivo par. 4.5.1 per una più dettagliata indicazione delle proprietà fisico meccaniche assunte in sede di progetto in funzione del Livello di Conoscenza ritenuto acquisito.

#### 4.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

In virtù del processo conoscitivo complessivamente condotto sulle opere oggetto di verifica, descritto ai precedenti parr. 4.2-4.3-4.3.1, in rispondenza a quanto riportato nella “Tabella C8A.1.2” delle “Circolare Esplicativa” si ritiene conseguito il Livello di Conoscenza richiamato nel successivo paragrafo.

##### 4.4.1 MURATURE PORTANTI

Si assume:

- per la tipologia muraria principale (muratura in blocchi forati) un Livello di Conoscenza di tipo **LC2 “conoscenza adeguata”**.
- per la rimanente tipologia muraria (muratura in mattoni pieni e malta di calce) un Livello di Conoscenza di tipo **LC1 “conoscenza limitata”**

Alla luce dei Livelli di Conoscenza conseguiti, per le proprietà dei materiali si adotta un Fattore di Confidenza che vale **FC = 1.20 e . FC = 1.35**



#### 4.5 PROPRIETÀ DEI MATERIALI UTILIZZATI IN SEDE PROGETTUALE

##### 4.5.1 MURATURE PORTANTI

Premesso quanto sopra, sulla base di quanto indicato nella Tabella C8A.1.1 e tenendo conto delle risultanze sperimentali, per le tipologie murarie individuate si sono assunte le seguenti proprietà meccaniche:

- Muratura in blocchi forati (LC2)

- $f_m = 206 \text{ N/cm}^2$
- $E = 1650 \text{ N/mm}^2$
- $G = 660 \text{ N/mm}^2$
- $f_{vlim} = 0.6 \text{ N/mm}^2$

- Muratura in mattoni pieni e malta di calce (LC1)

→ Valori minimi delle resistenze e dei moduli elastici, rispetto agli intervalli indicati in Tab. C8A.2.1 incrementati del parametro relativo alla connessione trasversale pari a 1.3

$$f_m = 312 \text{ N/cm}^2;$$

$$\tau_0 = 7.8 \text{ N/cm}^2;$$

$$E = 1500 \text{ N/mm}^2;$$

$$G = 500 \text{ N/mm}^2;$$

- Muratura in mattoni pieni e malta di calce rinforzata con un foglio di muratura affiancato (LC1)

→ Valori minimi delle resistenze e dei moduli elastici, rispetto agli intervalli indicati in Tab. C8A.2.1 incrementati del parametro relativo alla connessione trasversale pari a 1.3 e malta buona 1.5

$$f_m = 468 \text{ N/cm}^2;$$

$$\tau_0 = 11.7 \text{ N/cm}^2;$$

$$E = 2250 \text{ N/mm}^2;$$

$$G = 750 \text{ N/mm}^2;$$

- Muratura in mattoni pieni e malta di calce rinforzata con intonaco armato (LC1)

→ Valori minimi delle resistenze e dei moduli elastici, rispetto agli intervalli indicati in Tab. C8A.2.1 incrementati del parametro relativo alla malta buona 1.5 e all'intonaco armato 1.5

$$f_m = 540 \text{ N/cm}^2;$$

$$\tau_0 = 13.5 \text{ N/cm}^2;$$

$$E = 3375 \text{ N/mm}^2;$$

$$G = 1125 \text{ N/mm}^2;$$

#### 4.5.2 MATERIALI NUOVE STRUTTURE

Acciaio da carpenteria per cerchiature ed architravi:

S235JR:

- Tensione caratteristica di snervamento :  $f_{yk} = 2350 \text{ daN/cm}^2$
- Tensione caratteristica di rottura :  $f_{yk} = 3600 \text{ daN/cm}^2$
- $f_{tk}(\text{nomin}) / f_{yk}(\text{nomin}) > 1.20$
- $f_{y,MAX} < 1.20 \cdot f_{yk}$
- Modulo elastico :  $E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$

- Muratura in blocchi laterizi semipieni tipo POROTON P800 (perc. foratura <45%), malta M15 a prestazione garantita.

$$f_m = 655 \text{ N/cm}^2;$$

$$f_{vm0} = 43,00 \text{ N/cm}^2;$$

$$f_{vlim} = 1,0 \text{ N/mm}^2;$$

$$E = 5240 \text{ N/mm}^2;$$

$$G = 2096 \text{ N/mm}^2;$$

Deve essere dichiarata dal fabbricante la resistenza media degli elementi murari da mettere in opera.

Prima della loro posa i materiali sopra riportati devono essere **identificati** e **qualificati** (Marcatura CE) ed **accettati** dal Direttore dei lavori.

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Ai sensi del D.M. Infrastrutture 17/01/2018 i fabbricati sono stati classificati come costruzioni di tipo 2 (opere ordinarie) e Classe d'uso III; si assume quindi come periodo di riferimento per l'azione sismica:

$$V_R = V_N \times C_u = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

Il sito di costruzione ricade in zona sismica 3a, più in particolare le coordinate del sito sono le seguenti:

Il complesso strutturale oggetto della presente verifica ricade in zona sismica 3. Le coordinate dal punto

baricentrico sono le seguenti:

Sistema ED50:

Latitudine: 44.149617 N

Longitudine: 9.927000 E

Sistema WGS84

Latitudine: 44.148657 N

Longitudine: 9.925981 E

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, l'edificio risulta classificato come costruzione di tipo 2 ("Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale" –  $V_N = 50$  anni) e Classe d'uso III ("Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali." –  $c_u = 1.50$ ).

L'inquadramento nella Classe d'uso III risulta coerente con quanto disposto dall'Allegato al DGR. n.1384/2003 in base al quale l'edificio rientra nell'Elenco B "Categorie di edifici e di opere infrastrutturali di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso" (Asili nido e scuole di ogni ordine e grado).

Si assume in definitiva, come periodo di riferimento per l'azione sismica, l'intervallo temporale:

$$V_R = V_N \times C_u = 50 \times 1.50 = \mathbf{75 \text{ anni}}$$

Sulla base del periodo di riferimento  $V_R$  assunto, e della localizzazione geografica del sito, risultano definiti i parametri distintivi dell'azione sismica riportati nella seguente per i diversi Stati Limite:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	45	0.055	2.490	0.246
SLD	75	0.069	2.489	0.262
SLV	712	0.164	2.389	0.295
SLC	1462	0.207	2.382	0.306

Tabella 5.1 – Parametri sismici

(valori interpolati secondo il metodo della media ponderata richiamato al par. 3.2 del D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008)

Per quanto riguarda la caratterizzazione del suolo si è fatto riferimento alla 'Relazione geologica e sismica' redatta dal **Dott. Geol. Andrea ARGENTI**, iscritto all'Ordine dei Geologi della Liguria alla luce della quale indagine il suolo è stato classificato come di **categoria B** ["Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$

kPa nei terreni a grana fina).”] e non suscettibile di liquefazione. Il valore del coefficiente di sottosuolo  $S_S$  è stato quindi valutato con riferimento ai diversi Stati Limite attraverso la relazione  $1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$ , essendo  $F_0$  e  $a_g$  i parametri sismici di sito valutati per lo Stato Limite considerato.

Da un punto di vista topografico, sulla base del medesimo elaborato sopra richiamato, è stata assunta una **categoria topografica T1** (*‘Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ). Per il coefficiente topografico è stato pertanto adottato il valore  $S_T = 1.000$ .

## 6 MODELLO STRUTTURALE

### 6.1 CARATTERISTICHE DEI MODELLI DI CALCOLO

Il modello strutturale adottato è di tipo tridimensionale, ed è stato ottenuto tramite l’ausilio di un programma di calcolo a macroelementi finiti bidimensionali rappresentativi dei maschi murari e delle fasce di piano deformabili; le pareti murarie sono state schematizzate come telai piani equivalenti, connesse tra loro mediante i solai di piano e i nodi di estremità. I solai sono stati considerati deformabili in funzione del materiale e della tipologia impiegata. Il modello e la relativa analisi statica non lineare è stata effettuata utilizzando il programma di calcolo “3Muri ver. 11.5.0.0 Professionale” prodotto dalla S.T.A. DATA S.r.L. di Torino.

Per la verifica dell’edificio nella sua globalità si è preferito adottare l’analisi sismica non lineare in considerazione del fatto che *essendo le strutture in muratura*, come riportato al punto C7.8.1.5.1 della ‘Circolare Esplicativa’, *caratterizzate da un comportamento non lineare risultano, in ogni caso, più significativamente rappresentate attraverso un’analisi statica non lineare*.

Le combinazioni delle azioni sono state svolte conformemente a quanto previsto al *punto 2.5 del D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018*. La verifica delle sezioni resistenti è stata effettuata impiegando il metodo degli stati limite effettuando le verifiche previste dal suddetto D.M. agli Stati Limite Ultimi.

Per le verifiche sismiche sono state considerate n.24 analisi statiche non lineari, indipendenti tra loro, con distribuzione delle forze desunta da un andamento uniforme di accelerazioni lungo l’altezza della costruzione e distribuzione proporzionale alle forze statiche equivalenti alle forze d’inerzia il cui andamento lungo la struttura segue la forma del modo di vibrare principale, nonché rispondenti alle indicazioni di normativa di cui al *punto 7.2.6 del sopra richiamato D.M.* (analisi mantenendo inalterata la mutua distanza tra baricentro delle masse e baricentro delle rigidezze ed analisi variando tale distanza di  $\pm 5\%$  della lunghezza del fabbricato in direzione ortogonale all’azione sismica considerata).

L’assunzione di tali distribuzioni di forze d’inerzia è stata valutata in considerazione di quanto previsto dalla vigente normativa ai punti 7.3.4.2 e 7.8.1.5.4 per strutture murarie il cui modo di vibrare

fondamentale ha una partecipazione di massa superiore al 60%, difatti in direzione X la massa partecipante al primo modo è pari al 64% mentre in direzione Y è pari al 87%.

In particolare si precisa che, al fine di individuare il punto di controllo della struttura che meglio rappresenti il comportamento globale dell'edificio sono stati effettuati, per ogni analisi considerata, più controlli in corrispondenza dei nodi siti in sommità del fabbricato e ritenuti più significativi ed è stato quindi individuato, per ogni singola analisi esaminata, il nodo che meglio rispecchiasse il comportamento globale dell'intero complesso.

Al fine di considerare in una analisi di tipo non lineare l'effetto della combinazione delle componenti agenti di cui al punto 7.3.5 del D. M. citato si è utilizzato un coefficiente di amplificazione dell'azione sismica pari a 1,044.

Gli spostamenti medi di piano sono stati valutati in funzione dello spostamento medio dei singoli nodi appartenenti al piano stesso pesato sulla base della massa gravante sul nodo.

Vista la presenza di solai di piano di tipo flessibile senza presenza di soletta in calcestruzzo e di cordoli perimetrali estesi a tutto il perimetro sono state effettuate le verifiche dei cinematismi locali degli elementi murari mediante analisi cinematica non lineare.

Le verifiche in campo non lineare sono state effettuate considerando la rigidezza degli elementi murari sia fessurata che non fessurata in modo da cogliere la risposta della struttura in entrambe le situazioni. Dai risultati ottenuti si è evinto che non vi sono significative differenze risultando leggermente più gravose le analisi con le rigidezze fessurate. In ragione di ciò in termini di verifiche allegate gli elementi murari sono stati considerati, a favore di sicurezza, con rigidezza fessurata.

## **6.2 AZIONI ELEMENTARI DI CALCOLO E ANALISI DEI CARICHI**

L'individuazione delle condizioni elementari di calcolo (CCE) è stata messa a punto con riferimento allo Stato Attuale e alle relative destinazioni d'uso del fabbricato, in conformità con quanto disposto dal Cap.3 del D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 e 'Circolare Esplicativa' al previgente D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008:

### **a. Pesi Propri Strutturali**

I pesi propri strutturali vengono calcolati in automatico dal programma di calcolo in funzione del peso specifico dei materiali impiegati.

### **b. Solai Piano Terra, e Piano Primo:**



Il solaio in travetti in laterizio prefabbricato debolmente armati ed affiancati tipo SAP dello spessore totale di  $16+3=19$  cm .

Carichi permanenti strutturali:

peso proprio solaio (da manuale tecnico di prodotto)	<u>205 daN/m<sup>2</sup></u>
<b>Totale</b>	<b>205 daN/m<sup>2</sup></b>

Carichi permanenti non strutturali (per aule e corridoi ove non presenti tamponature):

sottofondo per pavimentazione (s = 2 cm)	40 daN/m <sup>2</sup>
Pavimentazione (s = 1 cm)	40 daN/m <sup>2</sup>
intonaco	<u>20 daN/m<sup>2</sup></u>
<b>Totale</b>	<b>100 daN/m<sup>2</sup></b>

Carichi permanenti non strutturali (per locali ove presenti tamponature):

sottofondo per pavimentazione (s = 2 cm)	40 daN/m <sup>2</sup>
Pavimentazione (s = 1 cm)	40 daN/m <sup>2</sup>
Tamponature	160 daN/m <sup>2</sup>
intonaco	<u>20 daN/m<sup>2</sup></u>
<b>Totale</b>	<b>260 daN/m<sup>2</sup></b>

Sovraccarico variabile (solaio piano Terra e Primo):

Ambienti suscettibili di affollamento (Cat.: C1)	<b>Totale</b>	<b>300 daN/m<sup>2</sup></b>
--------------------------------------------------	---------------	------------------------------

**c. Solai Piano Sottotetto:**

Il solaio in travetti in laterizio prefabbricato tipo Varese dello spessore totale di 20 cm posti ad interasse 50 cm.

Carichi permanenti strutturali:

peso proprio solaio (da manuale tecnico di prodotto)	<u>165 daN/m<sup>2</sup></u>
<b>Totale</b>	<b>165 daN/m<sup>2</sup></b>

Carichi permanenti non strutturali (per solaio sottotetto):

Coibentazione in cls alleggerito ad aria occlusa (s = 13 cm)	40 daN/m <sup>2</sup>
--------------------------------------------------------------	-----------------------

intonaco 20 daN/m<sup>2</sup>

**Totale 60 daN/m<sup>2</sup>**

Sovraccarico variabile (solaio piano Sottotetto):

Ambienti suscettibili di affollamento (Cat.: H) **Totale 50 daN/m<sup>2</sup>**

**d. Scala Principale:**

La struttura della scala è in ca dello spessore di cm 12.

Carichi permanenti strutturali:

peso proprio solaio (da analisi dei carichi) 435 daN/m<sup>2</sup>

**Totale 435 daN/m<sup>2</sup>**

Carichi permanenti non strutturali:

intonaco 20 daN/m<sup>2</sup>

Marmo gradino(s = 3 cm) 80 daN/m<sup>2</sup>

**Totale 100 daN/m<sup>2</sup>**

Sovraccarico variabile:

Ambienti suscettibili di affollamento (Cat.: C2) **Totale 400 daN/m<sup>2</sup>**

**e. Solaio copertura:**

Il solaio è costituito da orditura principale e secondaria in travi di tipo tralicciato in acciaio con sopra posto tavolato da cm 2.5 in abete N e coibentazione; il manto di copertura è in tegole marsigliesi.

Carichi permanenti strutturali:

peso proprio elementi in acciaio + tavolato in legno 80 daN/m<sup>2</sup>

**Totale 80 daN/m<sup>2</sup>**

Carichi permanenti non strutturali:

manto di copertura in tegole marsigliesi 40 daN/m<sup>2</sup>

**Totale 40 daN/m<sup>2</sup>**

Sovraccarico variabile:

Neve ( Punto 3.4. DM 2008) **Totale 80 daN/m<sup>2</sup>**

**N.B.: i Carichi da neve e dei manti di copertura delle falde inclinate sono state incrementati di un fattore 1,1 per tenere, appunto, in conto dell'inclinazione.**

### 6.3 **COMBINAZIONI DI CALCOLO**

Le combinazioni di calcolo sono state sviluppate in accordo con quanto prescritto ai par. 2.5.2 – 2.5.3 del D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, tenendo conto dei coefficienti parziali indicati nella tabella 2.5.I. Il vento è stato assunto sempre come azione di tipo non dominante, ovvero affetta dai coefficienti parziali di combinazione di tipo  $\psi$ .

#### **STATI LIMITE ULTIMI**

Si sono adottate le combinazioni espresse simbolicamente come segue:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

#### **STATI LIMITE DI ESERCIZIO**

Si sono prese in esame le seguenti combinazioni:

##### **RARE:**

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

##### **FREQUENTI:**

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

##### **QUASI PERMANENTI:**

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

#### **AZIONE SISMICA**

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

#### **AZIONI ECCEZIONALI**

Le azioni eccezionali  $A_d$  (uragani, urti, esplosioni, etc.), da considerare solo quando prescritte, si combinano solo con i carichi di carattere permanente. In tal caso alle verifiche di cui alla espressione di  $F_d$  sopra riportata, si aggiunge la seguente:

$$G_1 + G_2 + P + \Delta_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Si assumono i coefficienti  $\gamma$  dalla seguente tabella:

**Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU!**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Mentre i coefficienti  $\psi$  possono essere adottati seguendo le istruzioni della tabella:

**Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

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

## 7 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DELLA STRUTTURA

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, come già riferito in precedenza, la struttura in esame rientra nella categoria delle **‘costruzioni con livelli di prestazioni ordinari’** ( $V_n = 50$  anni) il cui uso preveda **affollamenti significativi (classe III)**. Ciò premesso il periodo di riferimento assunto per l'azione sismica è di **75 anni**.

In relazione alla destinazione d'uso, ovvero alla tipologia di azioni prevista secondo il normale utilizzo, la struttura può essere inquadrata all'interno delle **aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento** (cat. C1 – sovraccarico distribuito  $3.00 \text{ kN/m}^2$ )

La valutazione della sicurezza è stata eseguita conformemente a quanto indicato al *punto 2.3* del D.M. 17/01/2018 utilizzando il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite; per i vari elementi strutturali, nella sintesi dei risultati allegata viene riportato con riferimento agli Stati Limite Ultimi il valore della resistenza di progetto ( $R_d$ ) comparato al corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni ( $E_d$ ). In ambito sismico le verifiche nei confronti degli Stati Limite Ultimi sono state effettuate nei confronti del solo Stato Limite di salvaguardia della Vita conformemente a quanto riportato al *punto 7.3.6* del soprarichiamato D.M.

Per valutare gli effetti delle azioni, sia per gli Stati Limite Ultimi che per quelli di Esercizio è stato adottato il metodo dell'*analisi non lineare* nel rispetto di quanto riportato ai *punti 4.1.1.3 e 7.3.4.1* del sopra richiamato D.M..

Gli interventi previsti a progetto portano ad un adeguamento sismico dell'edificio.

Per quanto attiene le sollecitazioni dei vari elementi strutturali (travi, pilastri) si rimanda ai tabulati di calcolo nei quali è facilmente desumibile per ciascuno di essi il valore di calcolo e quello di dimensionamento e verifica in osservanza a quanto prescritto del D.M. Infrastrutture 17/01/2018.

### 7.1 ANALISI SISMICHE PER LE VERIFICHE NEL PIANO:

- il valore minimo del parametro  $\zeta_u$  (*indicatore del rischio di collasso*) si riscontra nell'**analisi n. 20** (*direzione +Y con distribuzione del carico sismico proporzionale alle forze statiche ed eccentricità negativa*) ed è pari ad  $\zeta_{slv} = \text{PGA}_{CLV} / \text{PGA}_{DLV} = 1.62/1.60 = 1.01 > 1.00$  a cui corrisponde un periodo di ritorno dell'azione stessa di  $T_{RCLV} = 741$  anni;
- il valore minimo del parametro  $\zeta_{sls}$  (*indicatore del rischio di inagibilità*) si riscontra nell'**analisi n. 22** (*direzione -Y con distribuzione del carico sismico uniforme ed eccentricità negativa*) ed è pari ad  $\alpha_e = \text{PGA}_{CLD} / \text{PGA}_{DLD} = 1.39/0.67 = 1.07 > 1.00$  a cui corrisponde un periodo di ritorno dell'azione stessa di  $T_{RCLD} = 479$  anni;
- il valore massimo del parametro  $q^*$  (*rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente*) si riscontra sempre nell'**analisi n.20** (*direzione +Y con distribuzione del carico sismico proporzionale alle forze statiche ed eccentricità negativa*) ed è pari a  $1.78 < 3.00$ ;

Per le verifiche fuori del proprio piano della muratura si evidenzia che le stesse risultano rispondenti ai dettami di normativa.

Nella verifica a pressioflessione fuori piano si riscontra il valore minimo del rapporto tra Momento sollecitante e resistente il valore di 1,89 nella parete 10 maschio E106 secondo piano; in tale verifica si è considerata la parete come vincolata alle estremità con doppia cerniera adottando un coefficiente pari a 8 nella formula  $Q \times L^2 / a$ .

## 7.2 VERIFICHE STATICHE DELLA MURATURA

Il valore massimo del rapporto tra il carico normale agente di progetto ed il relativo valore del carico massimo resistente della struttura è risultato pari a **0.89 < 1.00**, valore riscontrato al primo livello della parete 6 maschio E81.

## 8 TABULATI DI CALCOLO

La presente relazione di calcolo è stata ottenuta tramite l'ausilio del programma di calcolo a macroelementi finiti bidimensionali rappresentativi dei maschi murari e delle fasce di piano deformabili "3Muri" della S.T.A.DATA S.r.L.. Le pareti murarie sono state schematizzate come telai piani equivalenti connesse tra loro mediante i solai di piano e i nodi di estremità. I solai sono stati considerati deformabili possedendo una rigidezza diversa in funzione del materiale e della tipologia impiegata.

### 8.1 VERIFICHE SISMICHE

Le verifiche sismiche sono state effettuate mediante analisi statica non lineare in conformità a quanto riportato ai punti 7.3.4.1 e C7.3.4.1 rispettivamente del D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 e della 'Circolare Esplicativa' al previgente D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008.. In particolare si rileva che, al fine di individuare il punto di controllo della struttura che meglio rappresenti il comportamento globale dell'edificio sono stati effettuati, per ogni analisi considerata, più controlli in corrispondenza dei nodi siti in sommità del fabbricato e ritenuti maggiormente significativi: è stato quindi individuato, per la singola analisi esaminata, il nodo che meglio rispecchia il comportamento globale dell'intero complesso.

### 8.2 NORME DI RIFERIMENTO

Sono stati recepiti, per le analisi di cui in seguito, i principi e le regole riportate nelle normative seguenti:

- ✓ Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – "Aggiornamento delle <<Norme tecniche per le Costruzioni>>"
- ✓ Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 - "Norme tecniche per le Costruzioni"
- ✓ Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 30 di 113**

- ✓ Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n.3431
- ✓ Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n.3362

### 8.3 DESCRIZIONE DEI MATERIALI

#### MURATURA

Nome	Mattoni pieni rinforzo 1
E [N/mm <sup>2</sup> ]	2,250.00
G [N/mm <sup>2</sup> ]	750.00
w [kN/m <sup>3</sup> ]	18
f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	468.00
f <sub>k</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	242.67
τ [N/cm <sup>2</sup> ]	11.70
f <sub>vlm</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0.0
FC	1.35
γ m	2.50
α cc	0.85
k <sub>mod</sub>	0.00
Drift taglio	0.0050
Drift flessione	0.0100
φ ∞	0.0
Stato	Esistente
Descrizione	raddoppio muratura ed i...
Libreria	

Colore materiale



Texture



Nome	Mattoni pieni rinforzo 2
E [N/mm <sup>2</sup> ]	3,375.00
G [N/mm <sup>2</sup> ]	1,125.00
w [kN/m <sup>3</sup> ]	18
f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	540.00
f <sub>k</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	280.00
τ [N/cm <sup>2</sup> ]	13.50
f <sub>vlm</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0.0
FC	1.35
γ m	2.50
α cc	0.85
k <sub>mod</sub>	0.00
Drift taglio	0.0050
Drift flessione	0.0100
φ ∞	0.0
Stato	Esistente
Descrizione	Intonaco armato
Libreria	

Colore materiale



Texture



Nome	Muratura Esistente in blo...
E [N/mm <sup>2</sup> ]	1,650.00
G [N/mm <sup>2</sup> ]	660.00
w [kN/m <sup>3</sup> ]	11
f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	206.00
f <sub>k</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	165.00
τ [N/cm <sup>2</sup> ]	14.29
f <sub>vlm</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0.6
FC	1.20
γ m	2.50
α cc	0.85
k <sub>mod</sub>	0.00
Drift taglio	0.0040
Drift flessione	0.0080
φ ∞	0.0
Stato	Esistente
Descrizione	Muratura in Mattoni Forati
Libreria	

Colore materiale



Texture



Nome	Muratura in mattoni pieni
E [N/mm <sup>2</sup> ]	1,500.00
G [N/mm <sup>2</sup> ]	500.00
w [kN/m <sup>3</sup> ]	18
f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	312.00
f <sub>k</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	161.78
τ [N/cm <sup>2</sup> ]	7.80
f <sub>vlm</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0.0
FC	1.35
γ <sub>m</sub>	2.50
α <sub>cc</sub>	0.85
k <sub>mod</sub>	0.00
Drift taglio	0.0040
Drift flessione	0.0060
φ <sub>∞</sub>	0.0
Stato	Esistente
Descrizione	
Libreria	

10

114

Nome	Muratura P800
E [N/mm2]	5,240.00
G [N/mm2]	2,096.00
w [dN/m3]	12
f <sub>m</sub> [N/cm2]	655.00
f <sub>tk</sub> [N/cm2]	524.30
f <sub>vm0</sub> [N/cm2]	43.00
f <sub>vim</sub> [N/mm2]	1.0
γ <sub>m</sub>	2.00
Drift taglio	0.0050
Drift flessione	0.0100
φ <sub>∞</sub>	0.0
Stato	Nuovo
Descrizione	Muratura Poroton
Libreria	

7



C.A.

Nome	C16/20
E [N/mm <sup>2</sup> ]	28,608.00
G [N/mm <sup>2</sup> ]	11,920.00
w [kN/m <sup>3</sup> ]	25
f <sub>cm</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	24.0
f <sub>ck</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	16.0
γ c	1.50
α cc	0.85
Stato	Nuovo
Descrizione	
Libreria	Normativa Italiana (NT08)

Nome	C32/40
E [N/mm2]	33,346.00
G [N/mm2]	13,894.00
w [kN/m3]	18
fcm [N/mm2]	40.0
fcd [N/mm2]	32.0
γ c	1.50
α cc	0.85
Stato	Nuovo
Descrizione	
Libreria	

## Acciaio per C.A. e Strutturale

Nome	Esistente
E [N/mm <sup>2</sup> ]	210,000.00
G [N/mm <sup>2</sup> ]	79,231.00
w [dN/m <sup>3</sup> ]	79
f <sub>ym</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	320.0
f <sub>yk</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	320.0
γ s	1.15
Stato	Esistente
Descrizione	
Libreria	

Nome	S 235 (t ≤ 40mm)
E [N/mm²]	210,000.00
G [N/mm²]	80,769.00
w [kN/m³]	79
f <sub>ym</sub> [N/mm²]	253.0
f <sub>yk</sub> [N/mm²]	235.0
γ <sub>s</sub>	1.05
Stato	Nuovo
Descrizione	UNI EN10025-2 (aminati)
Libreria	Normativa Italiana (NT18)

## 8.4 GEOMETRIA DEL MODELLO

La modellazione dell'edificio viene realizzata mediante l'inserimento di pareti che vengono discretizzate in macroelementi, rappresentativi di maschi murari e fasce di piano deformabili; i nodi rigidi sono indicati nelle porzioni di muratura che tipicamente sono meno soggette al danneggiamento sismico.



Solitamente i maschi e le fasce sono contigui alle aperture, i nodi rigidi rappresentano elementi di collegamento tra maschi e fasce. La concezione matematica che si nasconde nell'impiego di tale elemento permette di riconoscere il meccanismo di danno, a taglio nella sua parte centrale o a pressoflessione sui bordi dell'elemento in modo da percepire la dinamica del danneggiamento così come si presenta effettivamente nella realtà.

I nodi del modello, sono nodi tridimensionali a 5 gradi di libertà (le tre componenti di spostamento nel sistema di riferimento globale e le rotazioni intorno agli assi X e Y) o nodi bidimensionali a 3 gradi di libertà (due traslazioni e la rotazione nel piano della parete). Quelli tridimensionali vengono usati per permettere il trasferimento delle azioni, da un primo muro a un secondo disposto trasversalmente rispetto al primo. I nodi di tipo bidimensionale hanno gradi di libertà nel solo piano della parete permettendo il trasferimento degli stati di sollecitazione tra i vari punti della parete.

Gli orizzontamenti, sono modellati con elementi solaio a tre nodi connessi ai nodi tridimensionali, sono caricabili perpendicolarmente al loro piano dai carichi accidentali e permanenti; le azioni sismiche caricano il solaio lungo la direzione del piano medio. Per questo l'elemento finito solaio viene definito con una rigidezza assiale, ma nessuna rigidezza flessionale, in quanto il comportamento meccanico principale che si intende sondare è quello sotto carico orizzontale dovuto al sisma.

#### **8.4.1 ELEMENTI DI STRUTTURA**

Piano Primo

Pannello murario

N.	Parete	Materiale	Rinforzo	Quota [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]
188	2	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	480	480	38.0
189	2	Muratura Esistente in blocchi forati	-	480	480	38.0
9	3	Muratura Esistente in blocchi forati	-	480	480	38.0
13	4	Muratura Esistente in blocchi forati	-	480	480	38.0
17	5	Muratura Esistente in blocchi forati	-	480	480	38.0
21	6	Muratura Esistente in blocchi forati	-	480	480	38.0
69	7	Muratura in mattoni pieni	-	480	480	25.0
73	7	Muratura in mattoni pieni	-	480	480	25.0
237	7	Mattoni pieni rinforzo 1	-	480	480	25.0
236	8	Mattoni pieni rinforzo 2	-	480	480	30.0
238	8	Muratura Esistente in blocchi forati	-	480	480	38.0
239	8	Mattoni pieni rinforzo 2	-	480	480	30.0
88	9	Mattoni pieni rinforzo 2	-	480	480	30.0
230	9	Mattoni pieni rinforzo 2	-	480	480	30.0
41	11	Muratura in mattoni pieni	-	480	480	25.0
45	12	Mattoni pieni rinforzo 1	-	480	480	25.0

209	27	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCCM	480	480	38.0
211	27	Muratura Esistente in blocchi forati	-	480	480	38.0

**Trave C.A. (1)**

N.	Parete	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota I [cm]	Quota J [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]	J [cm <sup>4</sup> ]
37	10	C16/20	B450	480	480	45.0	16.0	15,360.00

**Trave C.A. (2)**

N.	Parete	Af intradosso [cm <sup>2</sup> ]	Af estradosso [cm <sup>2</sup> ]	N. barre intradosso	N. barre estradosso	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm <sup>2</sup> ]
37	10	3.39	3.39	3	3	2.0	20	8.48

**Trave Acciaio / Legno**

N.	Parete	Materiale	Quota I [cm]	Quota J [cm]	Area [cm <sup>2</sup> ]	J [cm <sup>4</sup> ]	W plastico [cm <sup>3</sup> ]
229	8	S 235 (t <= 40mm)	480	480	39.63	1,165.17	121.37
231	9	S 235 (t <= 40mm)	480	480	39.63	1,165.17	121.37
213	27	S 235	480	480	38.77	1,673.00	245.00

**Solaio**

N.	Quota [cm]	Spessore [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Scarico masse	Tipo
1	480	-	-	-	-	Bidirezionale	Impalcato rigido
3	480	3.0	4,583.00	17,600.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente
4	292	12.0	500.00	33,000.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente
6	480	3.0	4,583.00	17,600.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente
13	480	3.0	4,583.00	17,600.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente

**Piano secondo**
**Pannello murario**

N.	Parete	Materiale	Rinforzo	Quota [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]
98	7	Muratura in mattoni pieni	-	840	360	25.0
100	7	Muratura in mattoni pieni	-	840	360	25.0
104	7	Muratura in mattoni pieni	-	840	360	25.0
105	7	Mattoni pieni rinforzo 1	-	840	360	25.0
109	8	Muratura in mattoni pieni	-	840	360	25.0
234	8	Muratura in mattoni pieni	-	840	360	25.0
240	8	Muratura Esistente in blocchi forati	-	840	360	38.0
241	8	Muratura in mattoni pieni	-	840	360	25.0

115	9	Mattoni pieni rinforzo 1	-	840	360	25.0
232	9	Mattoni pieni rinforzo 1	-	840	360	25.0
43	11	Muratura in mattoni pieni	-	840	360	25.0
47	12	Mattoni pieni rinforzo 1	-	840	360	25.0

**Pannello + Cordolo C.A. (1)**

N.	Parete	Materiale pannello	Rinforzo	Quota pannello [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota cordolo [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]
196	2	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0
197	2	Muratura Esistente in blocchi forati	-	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0
11	3	Muratura Esistente in blocchi forati	-	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0
15	4	Muratura Esistente in blocchi forati	-	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0
19	5	Muratura Esistente in blocchi forati	-	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0
23	6	Muratura Esistente in blocchi forati	-	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0
135	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
143	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
242	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
243	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
251	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
252	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
259	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
260	7	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
152	8	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
154	8	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
249	8	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
250	8	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
163	9	Muratura P800	-	0	0.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
165	9	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
167	9	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0

261	9	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
262	9	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
48	12	Muratura P800	-	840	360.0	25.0	C32/40	B450	840	25.0	25.0
215	27	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0
219	27	Muratura Esistente in blocchi forati	-	840	360.0	38.0	C32/40	B450	840	40.0	40.0

**Pannello + Cordolo C.A. (2)**

N.	Parete	Area [cm <sup>2</sup> ]	J [cm <sup>4</sup> ]	Af intrad. [cm <sup>2</sup> ]	Af estrad. [cm <sup>2</sup> ]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm <sup>2</sup> ]	Porzione deformabile
196	2	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
197	2	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
11	3	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
15	4	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
19	5	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
23	6	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
135	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
143	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
242	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
243	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
251	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
252	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
259	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
260	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
152	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
154	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
249	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
250	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
163	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
165	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
167	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
261	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
262	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
48	12	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
215	27	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
219	27	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50

**Trave C.A. (1)**

N.	Parete	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota I [cm]	Quota J [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]	J [cm <sup>4</sup> ]
39	10	C16/20	B450	840	840	45.0	16.0	15,360.00
220	27	C20/25	B450	840	840	38.0	20.0	25,333.33
246	29	C32/40	B450	840	840	25.0	25.0	32,552.08

**Trave C.A. (2)**

N.	Parete	Af intradosso [cm2]	Af estradosso [cm2]	N. barre intradosso	N. barre estradosso	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm2]
39	10	3.39	3.39	3	3	2.0	20	8.48
220	27	2.26	2.26	2	2	2.0	20	5.65
246	29	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05

### Trave Acciaio / Legno

N.	Parete	Materiale	Quota I [cm]	Quota J [cm]	Area [cm2]	J [cm4]	W plastico [cm3]
235	8	S 235 (t <= 40mm)	840	840	39.63	1,165.17	121.37
233	9	S 235 (t <= 40mm)	840	840	39.63	1,165.17	121.37
244	13	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
256	13	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
255	14	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
178	15	S 235 (t <= 40mm)	0	0	28.48	142.40	28.48
179	15	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
52	16	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
258	17	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
263	17	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
264	17	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
181	18	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
182	18	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
55	19	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
247	20	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
253	20	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
254	20	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
184	21	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
185	21	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48
223	28	S 235 (t <= 40mm)	840	840	28.48	142.40	28.48

### Solaio

N.	Quota [cm]	Spessore [cm]	G [N/mm2]	Ex [N/mm2]	Ey [N/mm2]	Scarico masse	Tipo
7	840	-	-	-	-	Bidirezionale	Impalcato rigido
9	840	3.0	4,583.00	17,600.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente
10	672	12.0	500.00	33,000.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente
12	840	3.0	4,583.00	17,600.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente
14	840	3.0	4,583.00	17,600.00	0.00	Monodirezionale	Definizione utente

### Balconi

N.	Parete	Dist. dal livello inf. [cm]	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]
1	2	0	460	253

### Elementi di copertura

Piano secondo

Pannello + Cordolo C.A. (1)

N.	Parete	Materiale pannello	Rinforzo	Spessore [cm]	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]
196	2	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0
197	2	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0
11	3	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0
15	4	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0
19	5	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0
23	6	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0
135	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
143	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
242	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
243	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
251	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
252	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
259	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
260	7	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
152	8	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
154	8	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
249	8	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
250	8	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
163	9	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
165	9	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
167	9	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
261	9	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
262	9	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
48	12	Muratura P800	-	25.0	C32/40	B450	25.0	25.0
215	27	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0
219	27	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	C32/40	B450	40.0	40.0

Pannello + Cordolo C.A. (2)

N.	Parete	Area [cm <sup>2</sup> ]	J [cm <sup>4</sup> ]	Af intrad. [cm <sup>2</sup> ]	Af estrad. [cm <sup>2</sup> ]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe	Area staffe	Porzione deformabile
----	--------	-------------------------	----------------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------	------------------	-----------------	--------------	-------------	----------------------

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 38 di 113**

									[cm]	[cm2]	
196	2	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
197	2	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
11	3	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
15	4	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
19	5	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
23	6	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
135	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
143	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
242	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
243	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
251	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
252	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
259	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
260	7	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
152	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
154	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
249	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
250	8	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
163	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
165	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
167	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
261	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
262	9	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
48	12	625.00	32,552.08	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05	0.50
215	27	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50
219	27	1,600.00	213,333.33	6.03	6.03	3	3	3.0	10	10.05	0.50

**Setto C.A. (1)**

N.	Parete	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Spessore [cm]
8	2	C32/40	B450	28.0
12	3	C32/40	B450	28.0
203	4	C32/40	B450	28.0
204	4	C32/40	B450	28.0
20	5	C32/40	B450	28.0
24	6	C32/40	B450	28.0
221	27	C32/40	B450	28.0

**Setto C.A. (2)**

**Parete**

N.	Parete	Diametro barre orizz. [mm]	Passo medio barre orizz. [cm]	Passo estremità barre orizz. [cm]	Diametro barre lato b [mm]	Passo barre lato b [cm]	Copriferro barre lato b [cm]
8	2	16	22	22	10	25	3.0

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 39 di 113**

N.	Parete	Af barre zona E [cm <sup>2</sup> ]	N. barre zona E	Larghezza zona E [cm]	Diam. armatura inclinata [mm]	Passo armatura inclinata [cm]	Angolo armatura inclinata [cm]
8	2	0.00	0	0.0	0	0	0

Trave di collegamento

		Intradosso		Estradosso				Staffe		Ferri diagonali		
N.	Parete	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Copriferro [cm]	Diametro [mm]	N. braccia	Passo medio	Passo estrem. [cm]	Af [cm <sup>2</sup> ]	Angolo [°]
8	2	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0	0	0	0.00	0

Setto C.A. (2)

Parete

N.	Parete	Diametro barre oriz. [mm]	Passo medio barre oriz. [cm]	Passo estremità barre oriz. [cm]	Diametro barre lato b [mm]	Passo barre lato b [cm]	Copriferro barre lato b [cm]
12	3	16	22	22	10	25	3.0

N.	Parete	Af barre zona E [cm <sup>2</sup> ]	N. barre zona E	Larghezza zona E [cm]	Diam. armatura inclinata [mm]	Passo armatura inclinata [cm]	Angolo armatura inclinata [cm]
12	3	0.00	0	0.0	0	0	0

Trave di collegamento

		Intradosso		Estradosso				Staffe		Ferri diagonali		
N.	Parete	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Copriferro [cm]	Diametro [mm]	N. braccia	Passo medio	Passo estrem. [cm]	Af [cm <sup>2</sup> ]	Angolo [°]
12	3	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0	0	0	0.00	0

Setto C.A. (2)

Parete

N.	Parete	Diametro barre oriz. [mm]	Passo medio barre oriz. [cm]	Passo estremità barre oriz. [cm]	Diametro barre lato b [mm]	Passo barre lato b [cm]	Copriferro barre lato b [cm]
203	4	16	22	22	10	25	3.0



**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 40 di 113**

N.	Parete	Af barre zona E [cm <sup>2</sup> ]	N. barre zona E	Larghezza zona E [cm]	Diam. armatura inclinata [mm]	Passo armatura inclinata [cm]	Angolo armatura inclinata [cm]
203	4	0.00	0	0.0	0	0	0

Trave di collegamento

N.	Parete	Intradosso		Estradosso		Copriferro [cm]	Diametro [mm]	Staffe		Ferri diagonal		
		Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre			N. braccia	Passo medio	Passo estrem. [cm]	Af [cm <sup>2</sup> ]	Angolo [°]
203	4	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0	0	0	0.00	0

Setto C.A. (2)

Parete

N.	Parete	Diametro barre oriz. [mm]	Passo medio barre oriz. [cm]	Passo estremità barre oriz. [cm]	Diametro barre lato b [mm]	Passo barre lato b [cm]	Copriferro barre lato b [cm]
204	4	16	22	22	10	25	3.0

N.	Parete	Af barre zona E [cm <sup>2</sup> ]	N. barre zona E	Larghezza zona E [cm]	Diam. armatura inclinata [mm]	Passo armatura inclinata [cm]	Angolo armatura inclinata [cm]
204	4	0.00	0	0.0	0	0	0

Trave di collegamento

N.	Parete	Intradosso		Estradosso		Copriferro [cm]	Diametro [mm]	Staffe		Ferri diagonal		
		Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre			N. braccia	Passo medio	Passo estrem. [cm]	Af [cm <sup>2</sup> ]	Angolo [°]
204	4	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0	0	0	0.00	0

Setto C.A. (2)

Parete

N.	Parete	Diametro barre oriz. [mm]	Passo medio barre oriz. [cm]	Passo estremità barre oriz. [cm]	Diametro barre lato b [mm]	Passo barre lato b [cm]	Copriferro barre lato b [cm]
20	5	16	22	22	10	25	3.0

**PROGETTO DEFINITIVO**  
*di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta*

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 41 di 113**

N.	Parete	Af barre zona E [cm <sup>2</sup> ]	N. barre zona E	Larghezza zona E [cm]	Diam. armatura inclinata [mm]	Passo armatura inclinata [cm]	Angolo armatura inclinata [cm]
20	5	0.00	0	0.0	0	0	0

Trave di collegamento

N.	Parete	Intradosso		Estradosso		Copriferro [cm]	Diametro [mm]	Staffe		Ferri diagonali		
		Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre			N. braccia	Passo medio	Passo estrem. [cm]	Af [cm <sup>2</sup> ]	Angolo [°]
20	5	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0	0	0	0.00	0

Setto C.A. (2)

Parete

N.	Parete	Diametro barre oriz. [mm]	Passo medio barre oriz. [cm]	Passo estremità barre oriz. [cm]	Diametro barre lato b [mm]	Passo barre lato b [cm]	Copriferro barre lato b [cm]
24	6	16	22	22	10	25	3.0

N.	Parete	Af barre zona E [cm <sup>2</sup> ]	N. barre zona E	Larghezza zona E [cm]	Diam. armatura inclinata [mm]	Passo armatura inclinata [cm]	Angolo armatura inclinata [cm]
24	6	0.00	0	0.0	0	0	0

Trave di collegamento

N.	Parete	Intradosso		Estradosso		Copriferro [cm]	Diametro [mm]	Staffe		Ferri diagonali		
		Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre	Af [cm <sup>2</sup> ]	N. barre			N. braccia	Passo medio	Passo estrem. [cm]	Af [cm <sup>2</sup> ]	Angolo [°]
24	6	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0	0	0	0.00	0

Setto C.A. (2)

Parete

N.	Parete	Diametro barre oriz. [mm]	Passo medio barre oriz. [cm]	Passo estremità barre oriz. [cm]	Diametro barre lato b [mm]	Passo barre lato b [cm]	Copriferro barre lato b [cm]
221	27	16	22	22	10	25	3.0

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 42 di 113**

N.	Parete	Af barre zona E [cm <sup>2</sup> ]	N. barre zona E	Larghezza zona E [cm]	Diam. armatura inclinata [mm]	Passo armatura inclinata [cm]	Angolo armatura inclinata [cm]
221	27	0.00	0	0.0	0	0	0

Trave di collegamento

Intradosso				Estradosso			Staffe			Ferri diagonali		
N.	Parete	Af [cm2]	N. barre	Af [cm2]	N. barre	Copriferro [cm]	Diametro [mm]	N. braccia	Passo medio	Passo estrem. [cm]	Af [cm2]	Angolo [°]
221	27	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0	0	0	0.00	0

Trave C.A. (1)

N.	Parete	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]	J [cm <sup>4</sup> ]
246	29	C32/40	B450	25.0	25.0	32,552.08

Trave C.A. (2)

N.	Parete	Af intradosso [cm <sup>2</sup> ]	Af estradosso [cm <sup>2</sup> ]	N. barre intradosso	N. barre estradosso	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm <sup>2</sup> ]
246	29	4.02	4.02	2	2	3.0	10	10.05

Trave Acciaio / Legno

N.	Parete	Materiale	Area [cm <sup>2</sup> ]	J [cm <sup>4</sup> ]	W plastico [cm <sup>3</sup> ]
244	13	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
256	13	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
255	14	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
178	15	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
179	15	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
52	16	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
258	17	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
263	17	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
264	17	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
181	18	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
182	18	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
55	19	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
247	20	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
253	20	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
254	20	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
184	21	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
185	21	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48
223	28	S 235 (t <= 40mm)	28.48	142.40	28.48

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 43 di 113**

**Falda**

N.	Quota min [cm]	Quota max [cm]	Spessore [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Scarico masse	Tipo
1	912	1,145	4.0	35.00	5,000.00	50.00	Monodirezionale	Legno con travetti affiancati e tavoletto semplice
2	912	1,036	4.0	35.00	5,000.00	50.00	Monodirezionale	Legno con travetti affiancati e tavoletto semplice
3	912	1,036	4.0	35.00	5,000.00	50.00	Monodirezionale	Legno con travetti affiancati e tavoletto semplice
6	912	1,145	4.0	35.00	5,000.00	50.00	Monodirezionale	Legno con travetti affiancati e tavoletto semplice
7	912	1,145	4.0	35.00	5,000.00	50.00	Monodirezionale	Legno con travetti affiancati e tavoletto semplice
9	912	1,145	4.0	35.00	5,000.00	50.00	Monodirezionale	Legno con travetti affiancati e tavoletto semplice

**Telaio equivalente**

Parete : 1

**Nodi 3D**

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
1	20	20	0	0
31	20	487	0	0
25	20	701	0	0
4	20	1,184	0	0
2	20	20	480	1
32	20	487	480	1
26	20	701	480	1
5	20	1,184	480	1
3	20	20	840	2
33	20	487	840	2
27	20	701	840	2
6	20	1,184	840	2

**Nodi 2D**

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
67	91	0	0
64	182	0	0
68	91	480	1
65	182	480	1
69	91	840	2
66	182	840	2

### Macroelementi Maschi

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
118	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	38.0	182.2	480.0	91	240	67	68
10	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	8.7	385.0	187	244	64	65
13	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	190.1	385.0	1,069	244	4	5
11	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	206.1	290.0	404	250	31	32
12	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	218.9	290.0	754	250	25	26
15	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	219.8	290.0	411	625	32	33
16	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	233.2	290.0	747	625	26	27
14	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	8.7	328.8	187	644	65	66
17	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	190.1	328.8	1,069	644	5	6
119	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	38.0	182.2	360.0	91	660	68	69

### Macroelementi Fasce

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
1	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	105.0	246	53	64	31
3	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	138.0	105.0	576	53	31	25
5	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	105.0	919	53	25	4
2	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	85.0	246	438	65	32
4	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	124.0	85.0	576	438	32	26
6	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	85.0	919	438	26	5
7	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	246	805	66	33
8	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	576	805	33	27
9	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	919	805	27	6

Parete : 2

## Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
4	20	1,184	0	0
58	872	1,184	0	0
22	1,153	1,184	0	0
7	1,575	1,184	0	0
5	20	1,184	480	1
59	872	1,184	480	1
23	1,153	1,184	480	1
8	1,575	1,184	480	1
6	20	1,184	840	2
60	872	1,184	840	2
24	1,153	1,184	840	2
9	1,575	1,184	840	2

## Nodi 2D

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
70	420	0	0
71	420	480	1
72	420	840	2

## Macroelementi Maschi

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
32	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	193.9	245.0	779	195	58	59
33	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	290.1	245.0	1,136	195	22	23
30	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	157.0	385.0	79	244	4	5
34	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	164.0	385.0	1,473	244	7	8
31	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	305.0	290.0	420	250	70	71
36	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	305.0	290.0	420	625	71	72
37	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	262.0	290.0	813	625	59	60
38	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	227.0	290.0	1,168	625	23	24
35	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	157.0	328.8	79	644	5	6
39	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	164.0	328.8	1,473	644	8	9

## Macroelementi Fasce

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore	Base	Altezza	Baricentro X	Baricentro Z	Nodo	Nodo
----	-----------	----------	----------	------	---------	--------------	--------------	------	------

			[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	sinistro	destro
22	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	115.0	40.0	933	20	58	22
18	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	105.0	212	53	4	70
20	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	105.0	627	53	70	58
24	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	105.0	1,336	53	22	7
23	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	112.5	240.0	966	360	59	23
19	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	85.0	212	438	5	71
21	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	85.0	627	438	71	59
25	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	85.0	1,336	438	23	8
26	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	212	805	6	72
27	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	627	805	72	60
28	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	999	805	60	24
29	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	1,336	805	24	9

Parete : 3

Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
10	1,575	-245	0	0
34	1,575	487	0	0
7	1,575	1,184	0	0
11	1,575	-245	480	1
35	1,575	487	480	1
8	1,575	1,184	480	1
12	1,575	-245	840	2
36	1,575	487	840	2
9	1,575	1,184	840	2

Nodi 2D

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
73	381	840	2
74	1,052	840	2

Macroelementi Maschi

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 47 di 113**

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
46	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	539.0	385.0	270	244	10	11
47	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	725.0	385.0	1,067	244	34	35
49	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	232.2	290.0	381	625	11	73
50	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	223.3	290.0	719	625	35	36
51	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	222.7	290.0	1,052	625	35	74
48	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	156.7	328.8	78	644	11	12
52	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	156.1	328.8	1,351	644	8	9

### Macroelementi Fasce

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
40	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	165.0	105.0	622	53	10	34
41	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	137.5	85.0	587	438	11	35
42	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	108.0	70.0	211	805	12	73
43	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	552	805	73	36
44	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	885	805	36	74
45	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.0	70.0	1,218	805	74	9

Parete : 4

### Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
13	956	-245	0	0
19	1,153	-245	0	0
10	1,575	-245	0	0
14	956	-245	480	1
20	1,153	-245	480	1
11	1,575	-245	480	1
15	956	-245	840	2
21	1,153	-245	840	2
12	1,575	-245	840	2

### Macroelementi Maschi



**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 48 di 113**

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
59	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	68.0	385.0	34	244	13	14
61	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	171.5	302.5	533	266	10	11
60	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	130.5	207.5	209	309	19	20
62	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	68.0	328.8	34	644	14	15
64	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	171.3	242.5	533	683	11	12
63	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	130.7	207.5	209	686	20	21

**Macroelementi Fasce**

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
53	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	76.0	105.0	106	53	13	19
55	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	173.0	305.0	361	153	19	10
54	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	76.0	85.0	106	438	14	20
56	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	173.0	255.0	361	558	20	11
57	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	76.0	70.0	106	805	15	21
58	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	173.0	30.0	361	825	21	12

Parete : 5

**Nodi 3D**

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
13	956	-245	0	0
16	956	20	0	0
14	956	-245	480	1
17	956	20	480	1
15	956	-245	840	2
18	956	20	840	2

**Nodi 2D**

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
75	133	0	0
76	133	480	1

### Macroelementi Maschi

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
66	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	265.0	480.0	133	240	75	76
67	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	90.1	306.9	45	633	14	15
68	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	74.9	306.9	228	633	17	18

### Macroelementi Fasce

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistr o	Nodo destro
65	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	100.0	140.0	140	770	15	18

Parete : 6

### Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
19	1,153	-245	0	0
61	1,153	20	0	0
37	1,153	487	0	0
28	1,153	701	0	0
22	1,153	1,184	0	0
20	1,153	-245	480	1
62	1,153	20	480	1
38	1,153	487	480	1
29	1,153	701	480	1
23	1,153	1,184	480	1
21	1,153	-245	840	2
63	1,153	20	840	2
39	1,153	487	840	2
30	1,153	701	840	2
24	1,153	1,184	840	2

### Nodi 2D

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
77	1,187	480	1
78	1,187	840	2

### Macroelementi Maschi

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
78	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	189.3	355.0	95	234	19	20
81	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	63.0	365.0	763	237	37	38
82	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	502.5	365.0	1,178	237	28	77
79	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	275.7	275.0	402	243	61	62
80	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	26.5	400.0	718	250	37	38
84	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	87.6	230.0	308	595	62	63
85	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	332.5	240.0	628	600	38	39
83	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	166.4	309.3	83	635	20	21
86	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	19.0	314.9	936	637	29	30
77	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	483.4	360.0	1,187	660	77	78

### Macroelementi Fasce

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
69	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	75.0	105.0	227	53	19	61
71	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	165.0	105.0	623	53	61	37
72	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	132.0	105.0	861	53	37	28
70	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	86.5	145.0	221	408	20	62
73	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	132.0	125.0	861	418	38	29
74	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	98.0	130.0	215	775	21	63
75	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	110.0	130.0	407	775	63	39
76	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	132.0	110.0	861	785	39	30

Parete : 7

Nodi 3D

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 51 di 113**

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
25	20	701	0	0
43	143	701	0	0
55	872	701	0	0
28	1,153	701	0	0
26	20	701	480	1
44	143	701	480	1
56	872	701	480	1
29	1,153	701	480	1
27	20	701	840	2
45	143	701	840	2
57	872	701	840	2
30	1,153	701	840	2

**Nodi 2D**

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
82	61	0	0
79	871	0	0
83	61	480	1
80	871	480	1
84	61	840	2
81	871	840	2

**Macroelementi Maschi**

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
92	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	556.4	355.0	401	234	43	44
93	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	60.0	355.0	841	234	55	56
90	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	122.6	480.0	61	240	82	83
94	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	556.4	309.3	401	635	44	45
95	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	60.0	309.3	841	635	56	57
91	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	122.6	360.0	61	660	83	84

**Macroelementi Fasce**

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
87	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	132.0	105.0	745	53	43	55
88	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	132.0	145.0	745	408	44	56
89	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	132.0	130.0	745	775	45	57

Parete : 8

Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
31	20	487	0	0
46	143	487	0	0
52	895	487	0	0
37	1,153	487	0	0
34	1,575	487	0	0
32	20	487	480	1
47	143	487	480	1
53	895	487	480	1
38	1,153	487	480	1
35	1,575	487	480	1
33	20	487	840	2
48	143	487	840	2
54	895	487	840	2
39	1,153	487	840	2
36	1,575	487	840	2

Nodi 2D

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
85	887	0	0
88	1,344	0	0
86	887	480	1
89	1,344	480	1
87	887	840	2
90	1,344	840	2

Macroelementi Maschi

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
101	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	687.0	355.0	344	234	46	47
102	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	68.0	355.0	853	234	52	53
99	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	422.5	480.0	1,344	240	88	89
103	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	687.0	309.3	344	635	47	48
104	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	68.0	309.3	853	635	53	54
100	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	422.5	360.0	1,344	660	89	90

## Macroelementi Fasce

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
96	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	132.0	105.0	753	53	46	52
97	Mattoni pieni rinforzo 2	-	30.0	132.0	145.0	753	408	47	53
98	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	132.0	130.0	753	775	48	54

Parete : 9

## Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
40	143	20	0	0
46	143	487	0	0
43	143	701	0	0
41	143	20	480	1
47	143	487	480	1
44	143	701	480	1
42	143	20	840	2
48	143	487	840	2
45	143	701	840	2

Parete : 10

## Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
49	895	20	0	0
52	895	487	0	0
50	895	20	480	1
53	895	487	480	1
51	895	20	840	2
54	895	487	840	2

## Nodi 2D

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
------	---------------	--------	---------

**PROGETTO DEFINITIVO**  
*di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta*

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 54 di 113**

91	233	0	0
92	233	480	1
93	233	840	2

**Macroelementi Maschi**

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
105	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	466.5	480.0	233	240	91	92
106	Muratura in mattoni pieni	-	25.0	466.5	360.0	233	660	92	93

Parete : 11

**Nodi 3D**

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
55	872	701	0	0
58	872	1,184	0	0
56	872	701	480	1
59	872	1,184	480	1
57	872	701	840	2
60	872	1,184	840	2

**Nodi 2D**

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
94	242	0	0
95	242	480	1
96	242	840	2

**Macroelementi Maschi**

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
107	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	483.4	480.0	242	240	94	95
108	Mattoni pieni rinforzo 1	-	25.0	483.4	360.0	242	660	95	96

Parete : 12

### Nodi 3D

Nodo	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Livello
1	20	20	0	0
40	143	20	0	0
49	895	20	0	0
16	956	20	0	0
61	1,153	20	0	0
2	20	20	480	1
41	143	20	480	1
50	895	20	480	1
17	956	20	480	1
62	1,153	20	480	1
3	20	20	840	2
42	143	20	840	2
51	895	20	840	2
18	956	20	840	2
63	1,153	20	840	2

### Nodi 2D

Nodo	X locale [cm]	Z [cm]	Livello
97	322	0	0
98	322	480	1
99	322	840	2
100	587	840	2

### Macroelementi Maschi

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
120	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	38.0	321.9	480.0	161	240	40	41
113	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	6.3	385.0	325	244	97	98
114	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	497.9	385.0	687	244	49	50
116	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	296.9	290.0	587	625	50	100
115	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	5.8	328.8	325	644	98	99
117	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	89.5	328.8	891	644	50	51
121	Muratura Esistente in blocchi forati	Sistema composito FRCM	38.0	321.9	360.0	161	660	41	42

### Macroelementi Fasce

N.	Materiale	Rinforzo	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
109	Muratura Esistente	-	38.0	110.0	105.0	383	53	97	49



	in blocchi forati								
110	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	110.5	85.0	383	438	98	50
111	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	111.0	70.0	383	805	99	100
112	Muratura Esistente in blocchi forati	-	38.0	111.0	70.0	791	805	100	51

(\*) Elementi di copertura

## 8.5 CARICHI

### Carico Sismico:

Le verifiche allo stato limite ultimo (SLV) e allo stato limite di esercizio (SLD; SLO); devono essere effettuate per la seguente combinazione [D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 #.3.2.4].

$$E + G_{k1} + G_{k2} + \sum_i \Psi_{2i} Q_{Ki}$$

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

$$G_{k1} + G_{k2} + \sum_i \Psi_{2i} Q_{Ki}$$

### Carico Statico:

La verifica allo stato limite ultimo per carichi statici viene condotta con la seguente combinazione dei carichi.

$$\gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_Q \Psi_0 Q_k$$

dove:

- ✓ E azione sismica per lo stato limite in esame;
- ✓  $G_{k1}$  peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- ✓  $G_{k2}$  peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- ✓  $Q_{Ki}$  valore caratteristico della azione variabile;
- ✓  $\Psi_2$  coefficiente di combinazione;
- ✓  $\Psi_0$  coefficiente di combinazione per i carichi variabili
- ✓  $\gamma_{G1}$ ;  $\gamma_{G2}$ ;  $\gamma_Q$ : coefficienti parziali di sicurezza

I valori dei vari coefficienti sono scelti in base alla destinazione d'uso dei vari solai secondo quanto indicato nella norma. [D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 Tabella 2.5.1].

N. Carico	Livello	Tipo	Gk1 [daN/m <sup>2</sup> ]	Gk2 [daN/m <sup>2</sup> ]	Qk [daN/m <sup>2</sup> ]	ψ0	ψ2	Note
1	2	Lineare [daN/m]	200	80	90	0.00	0.50	-
2	2	Lineare [daN/m]	200	80	90	0.00	0.50	-
3	2	Lineare [daN/m]	200	80	90	0.00	0.50	-
4	2	Lineare [daN/m]	200	80	90	0.00	0.50	-
5	2	Lineare [daN/m]	200	80	90	0.00	0.50	-
6	2	Lineare [daN/m]	200	80	90	0.00	0.50	-

Note

CDM : Considera solo contributo dinamico della massa

N. Solaio	Gk1 [daN/m <sup>2</sup> ]	Gk2 [daN/m <sup>2</sup> ]	Qk [daN/m <sup>2</sup> ]	Copertura	ψ0	ψ2
1	385	80	300	Sì	1.00	0.60
3	205	100	300	Sì	1.00	0.60
4	435	100	400	No	0.70	0.60
6	205	100	300	Sì	1.00	0.60
7	385	50	50	No	0.00	0.00
9	165	60	50	No	0.00	0.00
10	435	100	400	No	1.00	0.60
12	165	60	50	No	0.00	0.00
13	205	260	300	Sì	1.00	0.60
14	165	60	50	Sì	1.00	0.00

N. Balconi	Gk1 [daN/m <sup>2</sup> ]	Gk2 [daN/m <sup>2</sup> ]	Qk [daN/m <sup>2</sup> ]	Neve	ψ0	ψ2
1	300	80	300	Sì	0.70	0.30

N. Falda	Gk1 [daN/m <sup>2</sup> ]	Gk2 [daN/m <sup>2</sup> ]	Qk [daN/m <sup>2</sup> ]	Copertura	ψ0	ψ2
1	80	15	90	Sì	0.50	0.00
2	80	15	90	Sì	0.50	0.00
3	80	15	80	Sì	0.00	0.00
6	80	15	90	Sì	0.50	0.00
7	80	15	90	Sì	0.50	0.00
9	80	15	90	Sì	0.50	0.00

## 8.6 SPETTRO DA NORMATIVA

Gli spettri di risposta, sono definiti in funzione del reticolo di riferimento definito nella “Tabella 1” (parametri spettrali) in allegato al previgente D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008.

Tale tabella fornisce, in funzione delle coordinate geografiche (latitudine, longitudine), i parametri necessari a tracciare lo spettro. I parametri forniti dal reticolo di riferimento sono:

- ✓  $a_g$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- ✓  $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- ✓  $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

La trilogia di valori qui descritta, è definita per un periodo di ritorno assegnato ( $T_R$ ), definito in base alla probabilità di superamento di ciascuno degli stati limite.

Tali valori saranno pertanto definiti per ciascuno degli stati limite esaminati (vedere tabella).

Lo spettro sismico dipende anche dalla “Classe del suolo” e dalla “categoria topografica” (vedere tabella).

	SLC	SLV	SLD	SLO
$A_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	2.02	1.60	0.67	0.54
$F_0$	2.38	2.39	2.49	2.49
$T_c^*$ [s]	0.31	0.30	0.26	0.25
$T_r$	1462.00	712.00	75.00	45.00

	SLC	SLV	SLD	SLO
$S_s$	1.20	1.20	1.20	1.20
$T_b$ [s]	0.14	0.14	0.12	0.12
$T_c$ [s]	0.43	0.42	0.37	0.36
$T_d$ [s]	2.43	2.25	1.87	1.82

## 8.7 ANALISI INCREMENTALE A COLLASSO (PUSH-OVER)

### Descrizione analisi pushover

Al fine di eseguire le dovute verifiche nei riguardi dell'edificio in questione, si è deciso di procedere con l'esecuzione di una analisi statica non lineare.

Le verifiche richieste si concretizzano nel confronto tra la curva di capacità per le diverse condizioni previste e la domanda di spostamento prevista dalla normativa.

La curva di capacità è individuata mediante un diagramma spostamento-taglio massimo alla base.

Secondo le prescrizioni da normativa [D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 #7.3.4.2.], le condizioni di carico da esaminare devono considerare almeno due distribuzioni di forze d'inerzia, ricadenti l'una nelle distribuzioni principali (Gruppo 1) e l'altra nelle distribuzioni secondarie (Gruppo 2) appresso illustrate.

- ✓ distribuzione proporzionale all'andamento delle forze di piano agenti su ciascun orizzontamento calcolate in un'analisi dinamica lineare, includendo nella direzione considerata un numero di modi con partecipazione di massa complessiva non inferiore allo 85%. (Gruppo 1)
- ✓ distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione (Gruppo 2);

L'analisi, eseguita in controllo di spostamento, procede al calcolo della distribuzione di forze che genera il valore dello spostamento richiesto. L'analisi viene fatta continuare fino a che non si verifica il decadimento del taglio del 20% dal suo valore di picco. Si calcola così il valore dello spostamento massimo alla base dell'edificio generato da quella distribuzione di forze. Questo valore di spostamento costituisce il valore ultimo dell'edificio.

Lo spostamento preso in esame per il tracciamento della curva di capacità è quello di un punto dell'edificio detto nodo di controllo.

La normativa richiede il tracciamento di una curva di capacità bi-lineare di un sistema equivalente (SDOF). Il tracciamento di tale curva deve avvenire con una retta che, passando per l'origine interseca la curva del sistema reale in corrispondenza del 70% del valore di picco; la seconda retta risulterà parallela all'asse degli spostamenti tale da generare l'equivalenza delle aree tra i diagrammi del sistema reale e quello equivalente.

La determinazione della curva relativa al sistema equivalente, permette di determinare il periodo con cui ricavare lo spostamento massimo richiesto dal sisma, secondo gli spettri riportati sulla normativa.

La normativa definisce una eccentricità accidentale del centro delle masse pari al 5% della massima dimensione dell'edificio in direzione perpendicolare al sisma.

In base alla tipologia dell'edificio e alle scelte progettuali che si ritengono più idonee, si può decidere la condizione di carico sismico da prendere in esame.

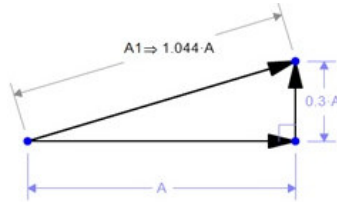
- ✓ Carico sismico: Individua quale delle due tipologie di distribuzioni (proporzionale alle masse o al primo modo) prendere in esame.
- ✓ Direzione: Individua la direzione lungo cui viene caricata la struttura (X o Y del sistema globale) dal carico sismico.

Al fine di individuare la condizione di carico sismico più gravosa, si è deciso di eseguire le analisi distinte per tipologia di carico, direzione del sisma e di eventuali eccentricità accidentali.

Gli effetti più gravosi determinati mediante la formula 7.3.10 delle NTC vengono considerati mediante un fattore amplificativo dell'azione sismica. Difatti nelle analisi pushover confrontando la

capacità della struttura e la domanda del sisma tale effetto può essere applicato alle sollecitazioni di domanda e non alle sollecitazioni resistenti di capacità.

Applicare la combinazione alle azioni equivale a imporre  $E_x=E_y=A$



Non è necessario applica re tale azione inclinata perché questa è solo una delle infinite direzioni possibili, il sisma non ha una direzione preferenziale pertanto tale azione massima va applicata lungo le direzioni più significative. Applicare tale forza lungo X o Y permette al calcolo di considerare efficaci le sole murature parallele al sisma stesso.

Tutto questo si riduce praticamente ad amplificare l'azione (A) moltiplicando ag per 1.044 nella forma spettrale.

N.	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Livello	Nodo
1	+X	Uniforme	0.0	2	54
2	+X	Forze statiche	0.0	2	54
3	-X	Uniforme	0.0	2	54
4	-X	Forze statiche	0.0	2	54
5	+Y	Uniforme	0.0	2	54
6	+Y	Forze statiche	0.0	2	54
7	-Y	Uniforme	0.0	2	54
8	-Y	Forze statiche	0.0	2	54
9	+X	Uniforme	71.4	2	54
10	+X	Uniforme	-71.4	2	54
11	+X	Forze statiche	71.4	2	54
12	+X	Forze statiche	-71.4	2	54
13	-X	Uniforme	71.4	2	54
14	-X	Uniforme	-71.4	2	54
15	-X	Forze statiche	71.4	2	54
16	-X	Forze statiche	-71.4	2	54
17	+Y	Uniforme	77.8	2	54
18	+Y	Uniforme	-77.8	2	33
19	+Y	Forze statiche	77.8	2	54
20	+Y	Forze statiche	-77.8	2	54
21	-Y	Uniforme	77.8	2	54
22	-Y	Uniforme	-77.8	2	54
23	-Y	Forze statiche	77.8	2	54
24	-Y	Forze statiche	-77.8	2	54

## 8.8 RISULTATI

### Stato limite Ultimo (SLV):

$$D_{max} \leq D_u$$

- ✓  $D_{max}$ : Spostamento massimo richiesto dalla normativa individuato dallo spettro elastico.
- ✓  $D_u$ : Spostamento massimo offerto dalla struttura corrispondente con il decadimento della curva Push-over di un valore pari al 20% di quello massimo.
- $q^* < 3$
- ✓  $q^*$ : rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente

### Stato limite di Danno (SLD):

$$D_{max}^{SLD} \leq D_d$$

- ✓  $D_{max}^{SLD}$ : Spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di danno.
- ✓  $D_d$ : Spostamento massimo corrispondente al valore che causa il superamento del valore massimo di drift di piano (0.003).

### Stato limite di Operatività (SLO):

$$D_{max}^{SLO} \leq D_o$$

- ✓  $D_{max}^{SLO}$ : Spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di operatività.
- ✓  $D_o$ : Spostamento massimo corrispondente al valore che causa il superamento del valore massimo di drift di piano (0.002).

### Vulnerabilità sismica

Per ciascuno stato limite viene calcolato l'indice di rischio  $\alpha$  ( $\alpha_{SLV}$ ,  $\alpha_{SLD}$ ,  $\alpha_{SLO}$ ). Questi parametri vengono calcolati come indicato nel seguito:

$$\alpha_{SLV} = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}} ; \alpha_{SLD} = \frac{PGA_{CLD}}{PGA_{DL D}} ; \alpha_{SLO} = \frac{PGA_{CLO}}{PGA_{DLO}} ;$$

Accelerazioni di capacità: l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere.

- ✓  $PGA_{CLV}$ : accelerazione di capacità corrispondente a SLV
- ✓  $PGA_{CLD}$ : accelerazione di capacità corrispondente a SLD
- ✓  $PGA_{CLO}$ : accelerazione di capacità corrispondente a SLO

Accelerazioni di domanda : Valori di riferimento delle accelerazioni dell'azione sismica

Tali valori vengono definiti a partire dal “reticolo di riferimento” determinato dall'allegato A delle NTC

- ✓  $PGA_{DLV}$  : accelerazione di picco al suolo corrispondente a SLV
- ✓  $PGA_{DLD}$  : accelerazione di picco al suolo corrispondente a SLD
- ✓  $PGA_{DLO}$  : accelerazione di picco al suolo corrispondente a SLO

### 8.8.1 DETTAGLIO VERIFICHE

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Du SLD [cm]	a SLV	a SLD
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniforme	0.00	0.64	1.51	1.25	0.22	0.94	1.746	3.010
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Forze statiche	0.00	0.75	1.70	1.31	0.26	1.76	1.758	4.446
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniforme	0.00	0.59	1.02	1.20	0.21	1.04	1.378	3.363
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Forze statiche	0.00	0.68	1.23	1.24	0.24	1.40	1.452	3.872
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniforme	0.00	1.02	1.79	1.63	0.34	1.11	1.554	2.580
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Forze statiche	0.00	1.12	1.68	1.68	0.38	1.56	1.381	3.184
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniforme	0.00	1.11	1.68	1.59	0.39	1.08	1.385	2.343
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Forze statiche	0.00	1.24	1.85	1.64	0.44	1.33	1.383	2.556
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniforme	71.45	0.65	1.02	1.27	0.22	1.16	1.327	3.506
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniforme	-71.45	0.66	1.20	1.26	0.23	1.60	1.465	4.431
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Forze statiche	71.45	0.77	1.19	1.33	0.27	1.50	1.324	3.835
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Forze statiche	-71.45	0.77	1.31	1.37	0.26	1.70	1.428	4.289
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniforme	71.45	0.59	0.96	1.21	0.21	1.12	1.327	3.549
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniforme	-71.45	0.60	1.12	1.17	0.22	1.01	1.456	3.265
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Forze statiche	71.45	0.69	1.16	1.26	0.24	1.35	1.392	3.764
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Forze statiche	-71.45	0.67	1.27	1.19	0.25	1.29	1.489	3.642
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniforme	77.75	0.96	1.27	1.57	0.32	1.22	1.226	2.886
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniforme	-77.75	1.11	1.90	1.69	0.38	1.01	1.533	2.227
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Forze statiche	77.75	1.05	1.46	1.61	0.36	1.38	1.284	2.989
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Forze statiche	-77.75	1.19	1.21	1.78	0.40	1.30	1.014	2.613
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniforme	77.75	1.04	1.27	1.50	0.37	1.26	1.162	2.780
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniforme	-77.75	1.17	1.89	1.71	0.40	0.97	1.482	2.077
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Forze statiche	77.75	1.17	1.56	1.56	0.42	1.51	1.253	2.969
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Forze statiche	-77.75	1.30	2.06	1.76	0.46	1.19	1.469	2.245

Visualizza dettagli

$\zeta_E$  1.0

Applica

Inserisci tutto in relazione

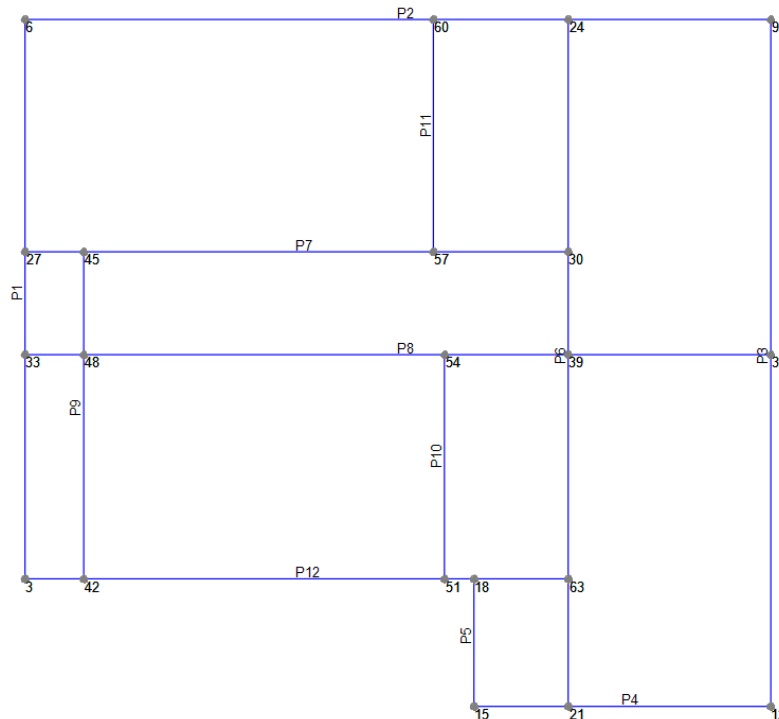
Cancella analisi

**Legenda colori**

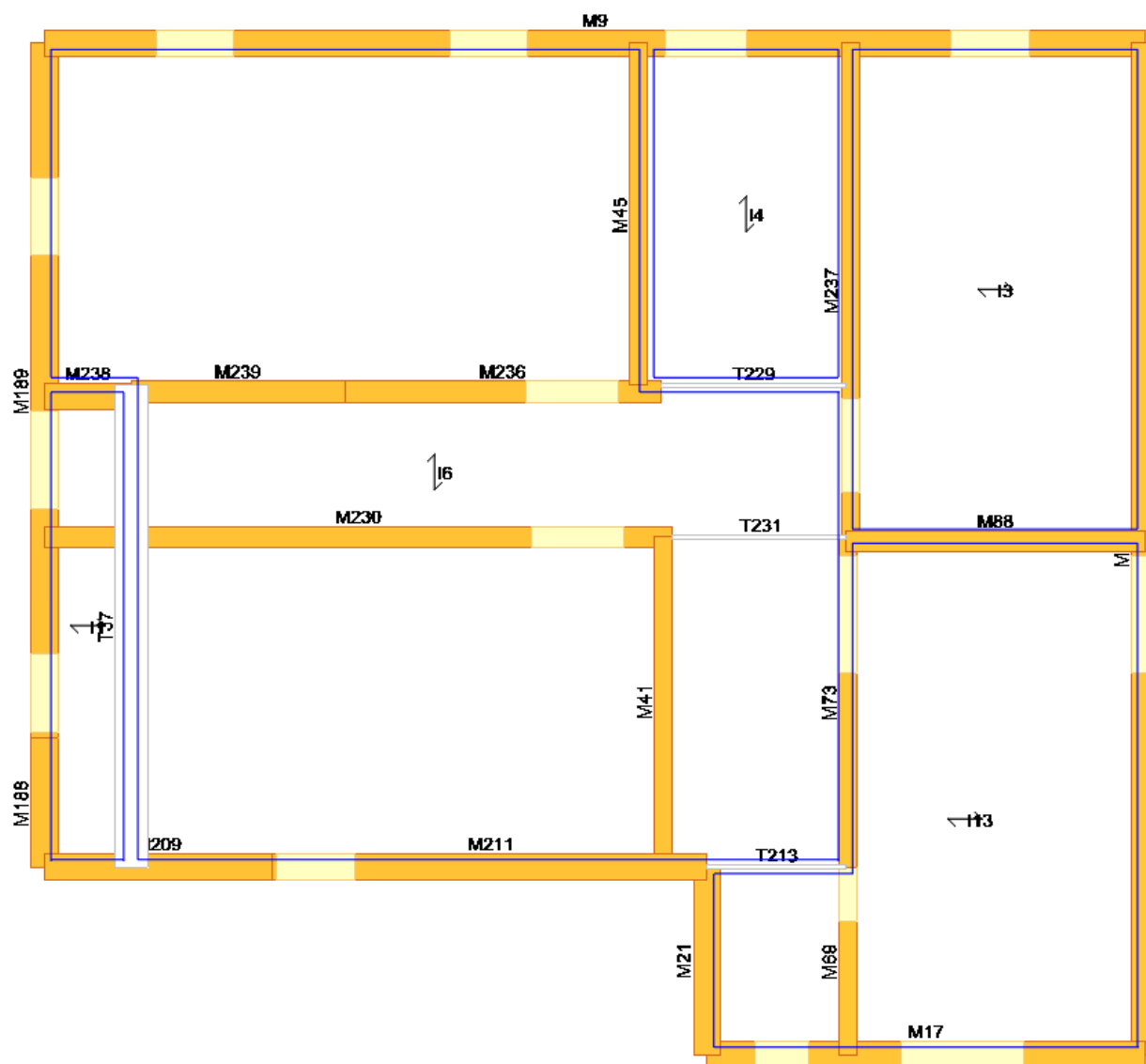
- Verificato
- Non verificato
- Mancato decadimento
- Non converge a p.p.
- Analisi più gravosa

Esci ?

### 8.8.2 SCHEMA PLANIMETRICO GENERALE DELL'EDIFICIO.

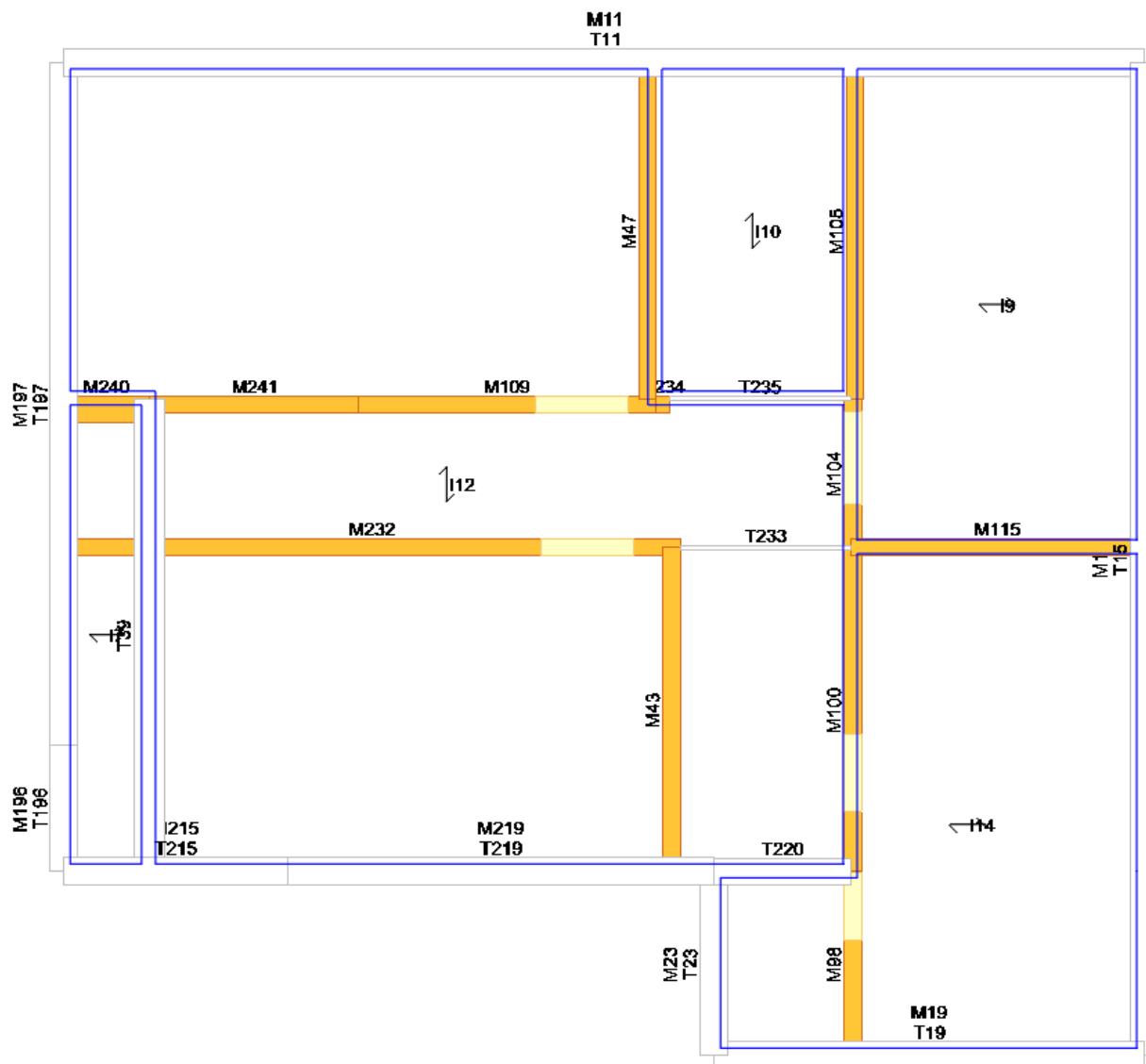




**8.8.3 VISTA PIANTA LIVELLO 1**

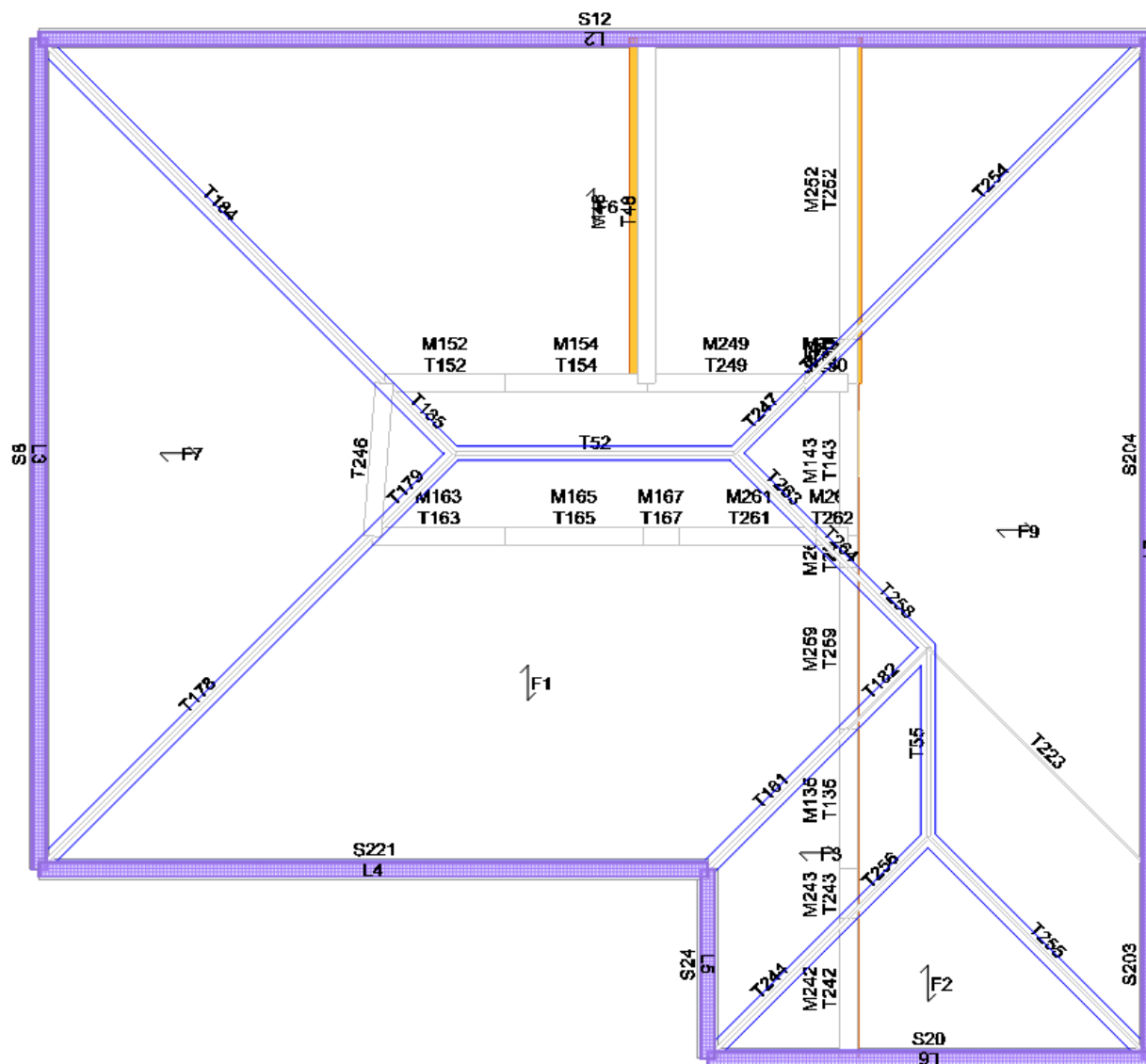
Vista pianta livello 1

#### 8.8.4 VISTA PIANTE LIVELLO 2



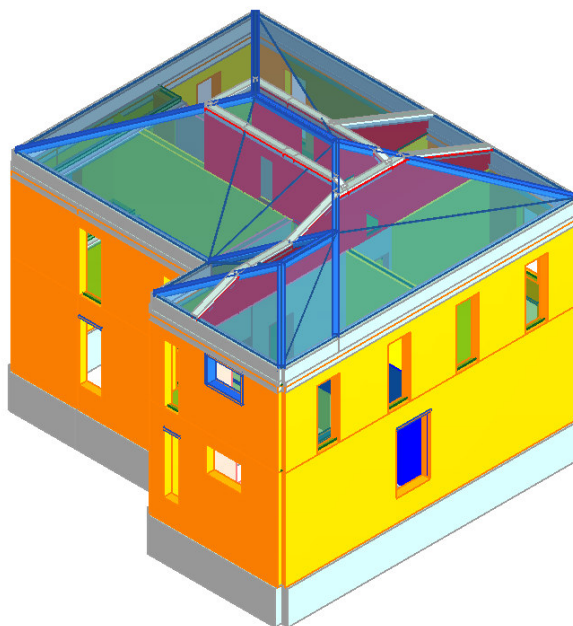
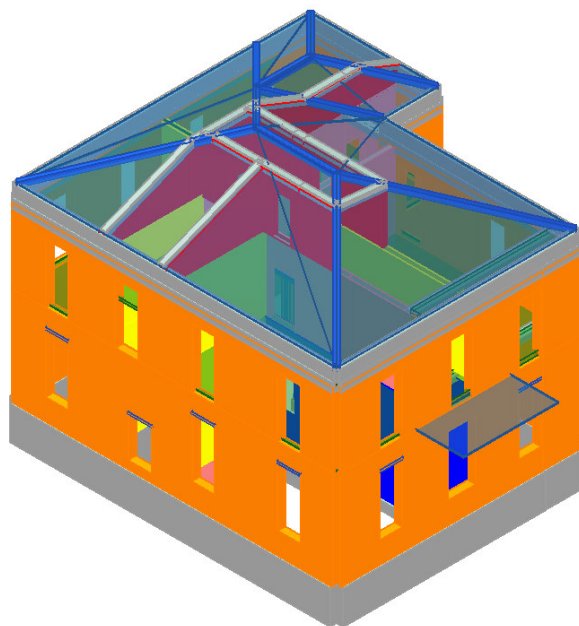
**Vista pianta livello 2**

### 8.8.5 VISTA PIANTA COPERTURA

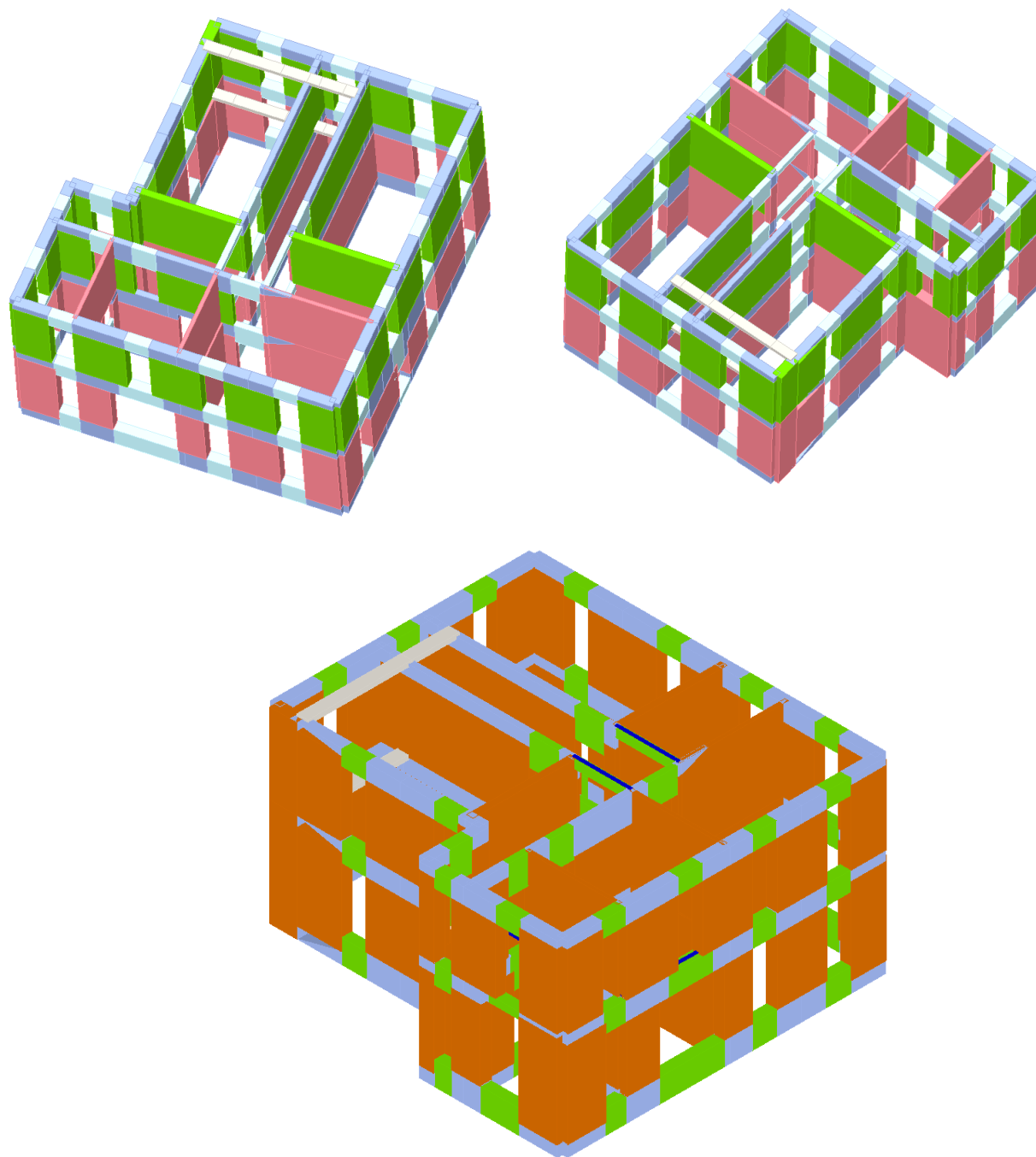


Vista pianta Copertura

### 8.8.6 PROSPETTIVA APERTA



### 8.8.7 PROSPETTIVA MODELLO DI CALCOLO



### 8.9 DIAGRAMMI PUSH-OVER RISULTANTI DALLE ANALISI EFFETTUATE.

Si riportano i 24 diagrammi di push-over considerati al fine di determinare i parametri riportati con indicazione del passo relativo allo spostamento ultimo richiesto da normativa ed i dettagli delle verifiche nelle condizioni di carico più gravose per le due direzioni principali.

- Dettagli verifiche analisi 11 (analisi più gravosa per azione sismica in direzione X).

**Dettaglio verifiche**

**SLC**

Dmax - [cm] - Du - [cm]

q\* - - 3

-

Valore limite raggiunto per

**SLV**

Dmax 0.77 [cm] <= Du 1.19 [cm]

q\* 1.33 <= 3

La verifica è soddisfatta

**SLD**

Dmax 0.27 [cm] <= Du 1.50 [cm]

La verifica è soddisfatta

Valore limite per raggiungimento Valore di Picco

**SLO**

Dmax - [cm] - Du - [cm]

-

	TR <sub>C</sub>	TR <sub>D</sub>	α <sub>TR</sub>	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	α <sub>PGA</sub>
SLC	0	1462	0.0000	0.0000	2.0238	0.0000
SLV	1692	712	2.3764	2.1216	1.6030	1.3236
SLD	1692	75	22.5600	2.5693	0.6700	3.8346
SLO	0	45	0.0000	0.0000	0.5405	0.0000

**Parametri di Analisi**

T* [s]	0.202
m* [kg]	372958
w [daN]	600871
M [kg]	610963
m*/M [%]	61.044
Γ	1.23
F*y [daN]	134101
d*y [cm]	0.37
d*u [cm]	1.98

☒ Mostra PGA su roccia

Dettagli ...

Normativa ?

Esci ?

**Vulnerabilità Sismica**

	TR <sub>C</sub>	TR <sub>D</sub>	α <sub>TR</sub>	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>C</sub> (TR)	α <sub>PGA</sub> (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	α <sub>PGA</sub>
SLC	0	1462	0.0000	2.0238	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
SLV	1692	712	2.3764	1.6030	2.1160	2.38	0.31	1.3201	2.1216	1.3236
SLD	1692	75	22.5600	0.6700	2.1160	2.38	0.31	3.1581	2.5693	3.8346
SLO	0	45	0.0000	0.5405	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

Esci ?

➤ Dettagli verifiche analisi 20 (analisi più gravosa per azione sismica in direzione Y)

Dettaglio verifiche

**SLC**

Dmax - [cm] - Du - [cm]

q\* - - 3

Valore limite raggiunto per

**SLV**

Dmax 1.19 [cm] <= Du 1.21 [cm]

q\* 1.78 <= 3

La verifica è soddisfatta

**SLD**

Dmax 0.40 [cm] <= Du 1.30 [cm]

La verifica è soddisfatta

Valore limite per raggiungimento Valore di Picco

**SLO**

Dmax - [cm] - Du - [cm]

-

	TR <sub>C</sub>	TR <sub>D</sub>	a <sub>TR</sub>	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	a <sub>PGA</sub>
SLC	0	1462	0.0000	0.0000	2.0238	0.0000
SLV	741	712	1.0407	1.6261	1.6030	1.0144
SLD	741	75	9.8800	1.7504	0.6700	2.6125
SLO	0	45	0.0000	0.0000	0.5405	0.0000

☒ Mostra PGA su roccia

Dettagli ...

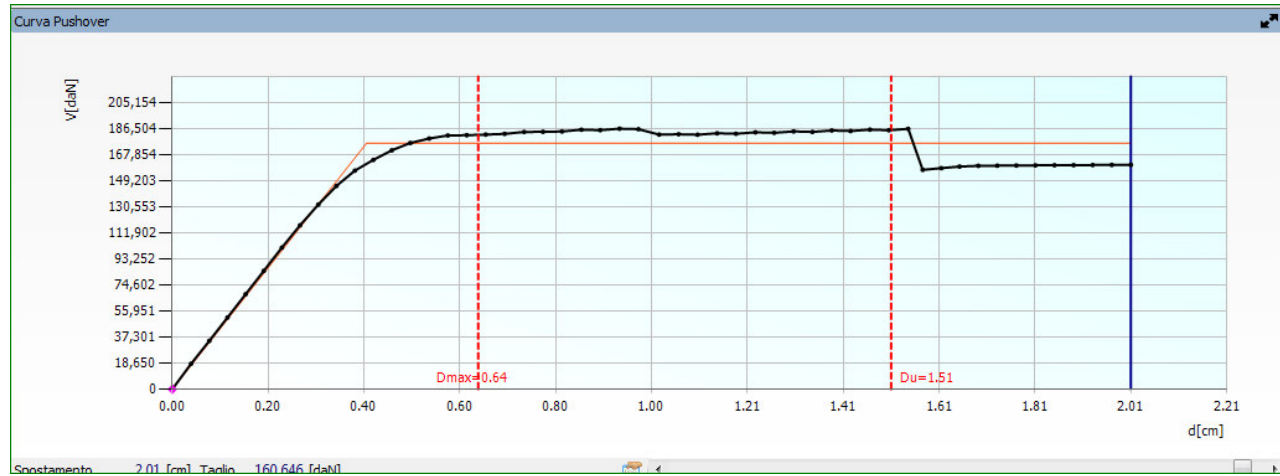
Normativa ? Esci

**Vulnerabilità Sismica**

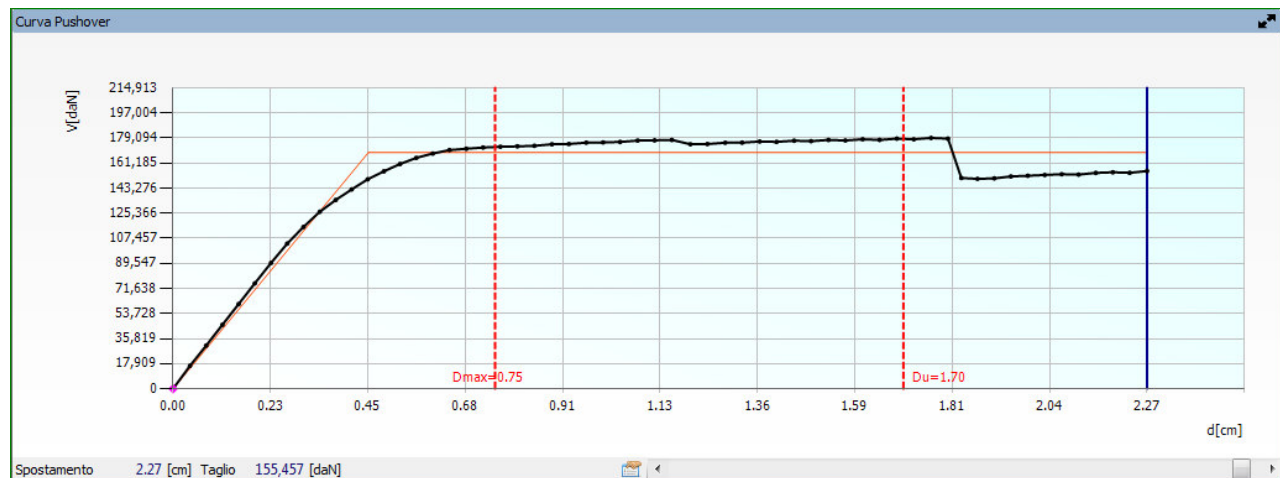
	TR <sub>C</sub>	TR <sub>D</sub>	a <sub>TR</sub>	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>C</sub> (TR)	a <sub>PGA</sub> (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	a <sub>PGA</sub>
SLC	0	1462	0.0000	2.0238	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
SLV	741	712	1.0407	1.6030	1.6255	2.39	0.30	1.0141	1.6261	1.0144
SLD	741	75	9.8800	0.6700	1.6255	2.39	0.30	2.4261	1.7504	2.6125
SLO	0	45	0.0000	0.5405	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

Esci ?

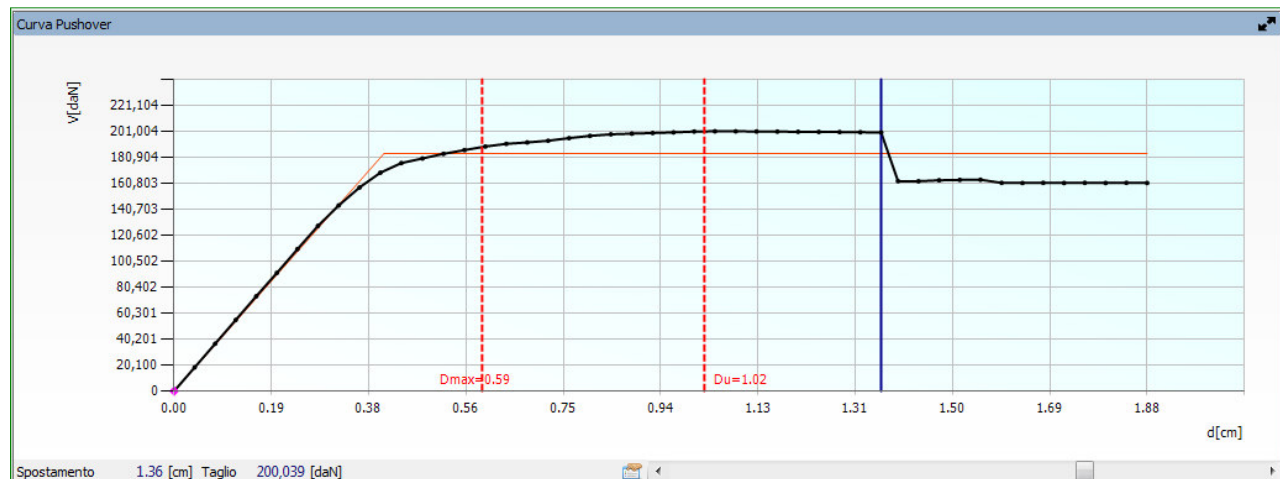
➤ Curva Push-Over analisi 1.



➤ Curva Push-Over analisi 2.

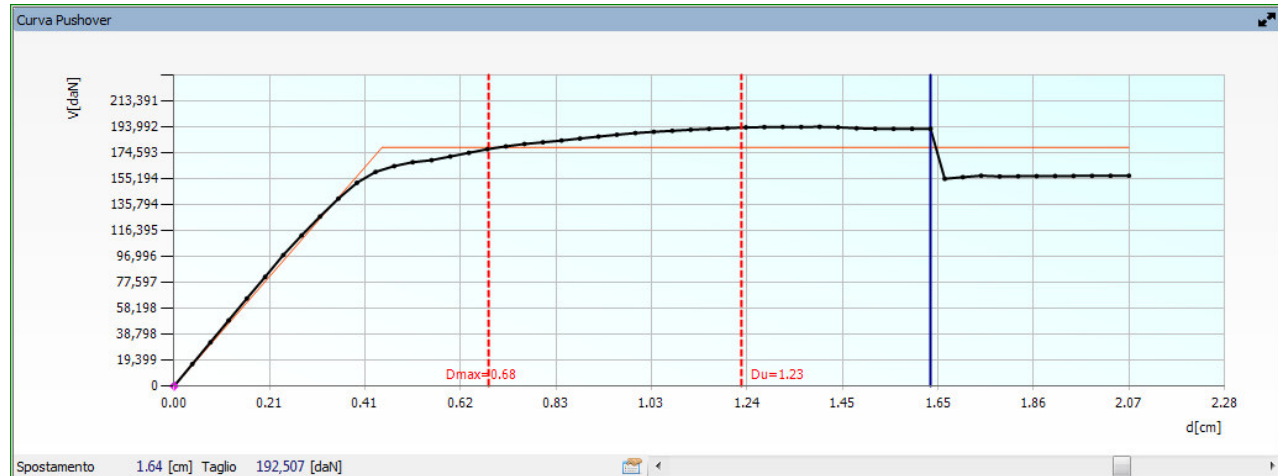


➤ Curva Push-Over analisi 3.

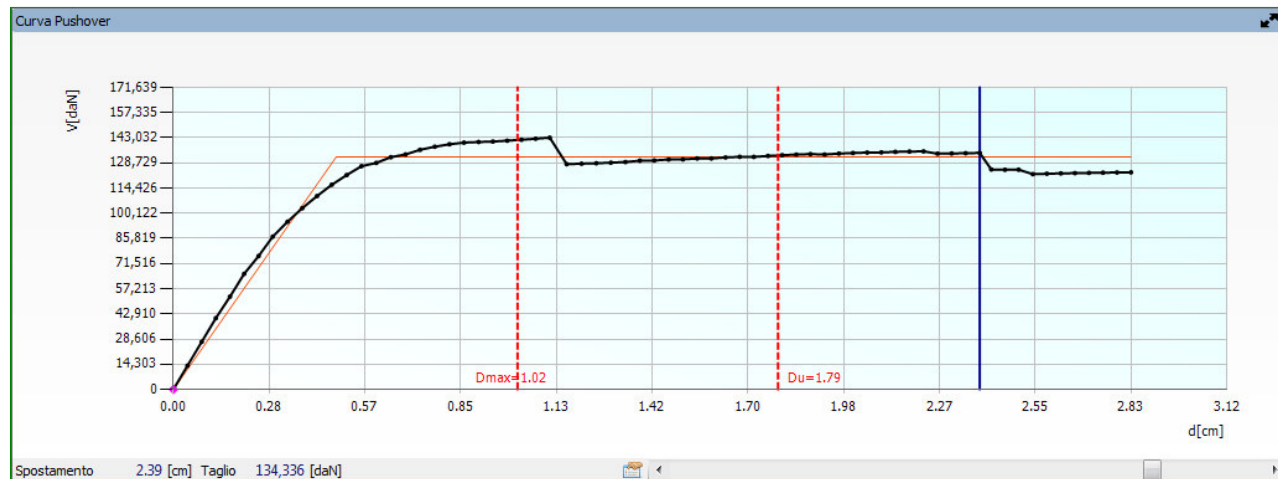




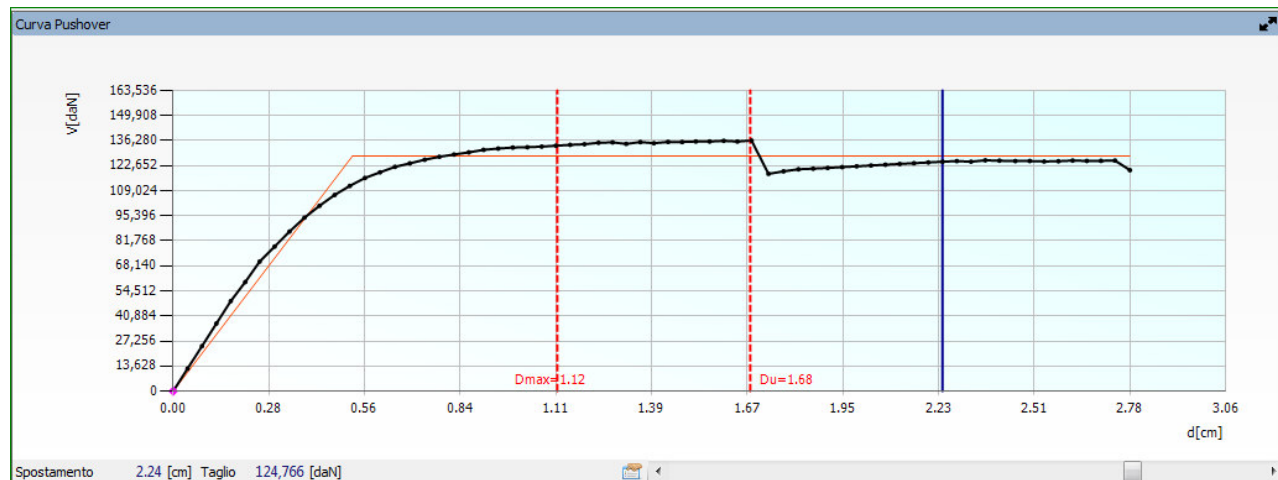
➤ Curva Push-Over analisi 4.



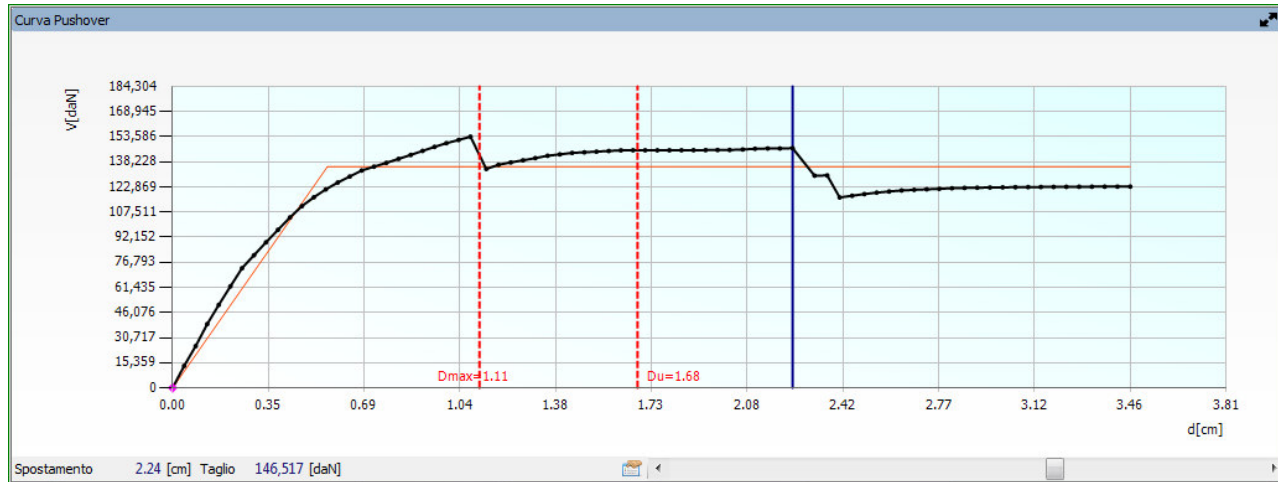
➤ Curva Push-Over analisi 5.



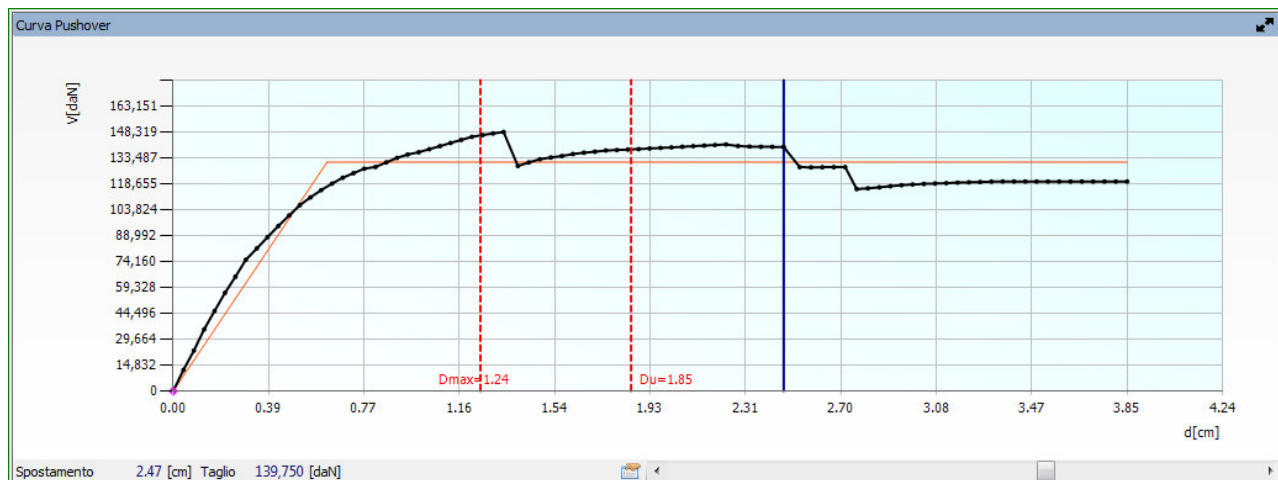
➤ Curva Push-Over analisi 6.



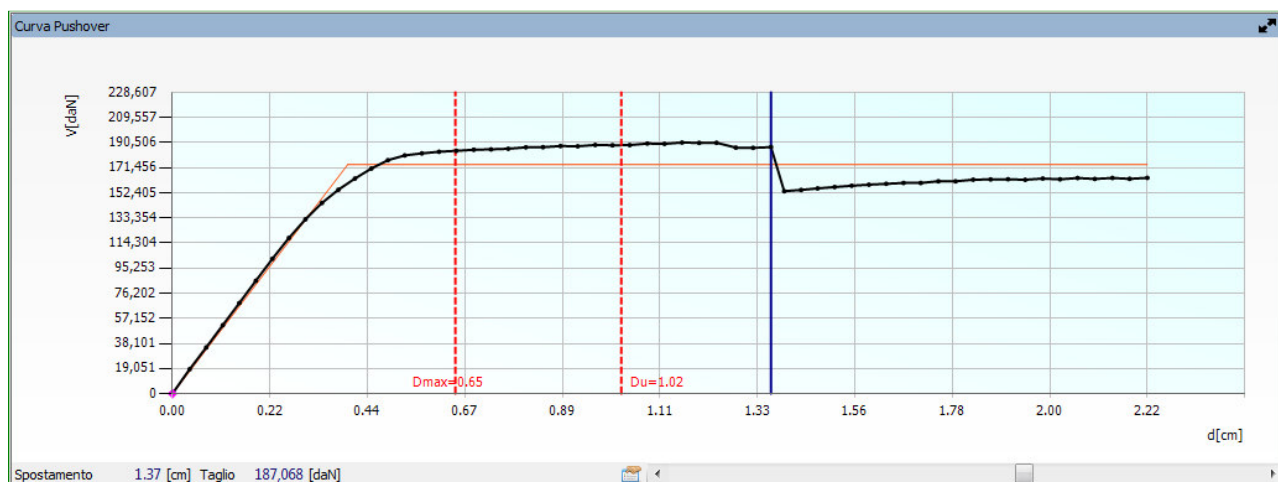
➤ Curva Push-Over analisi 7.



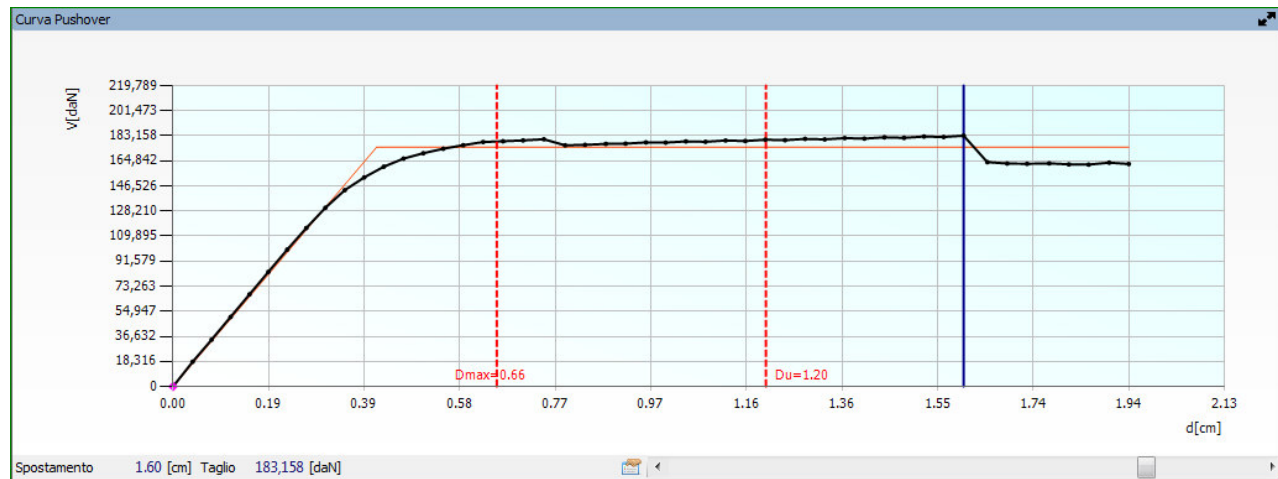
➤ Curva Push-Over analisi 8.



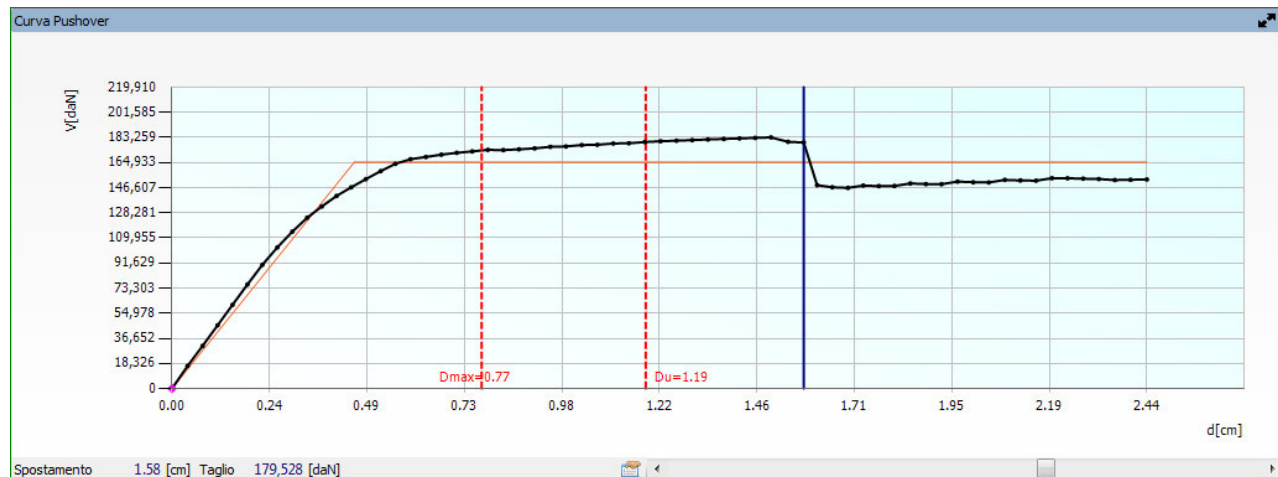
➤ Curva Push-Over analisi 9.



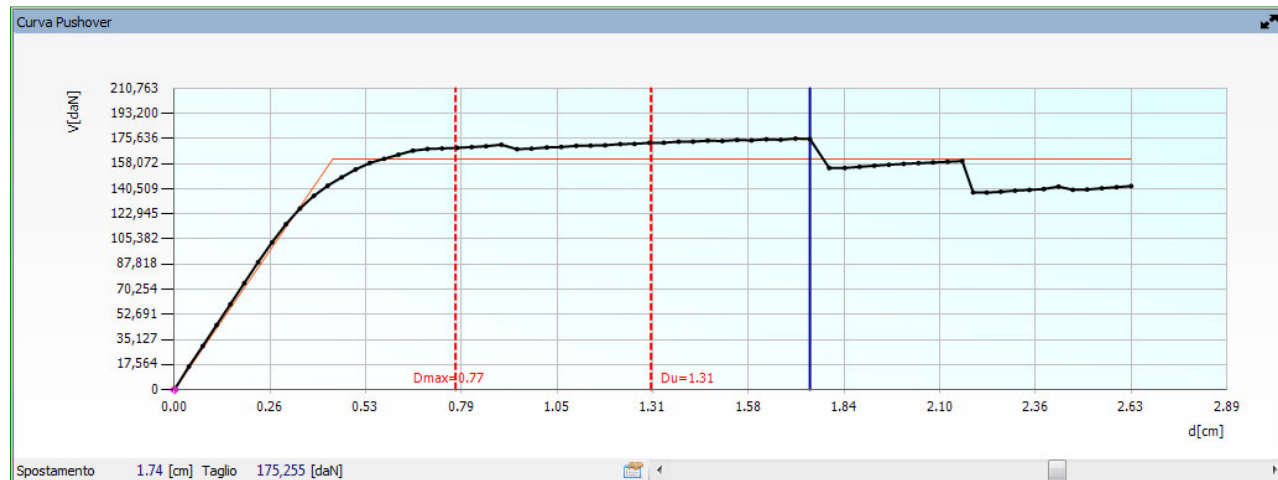
➤ Curva Push-Over analisi 10.



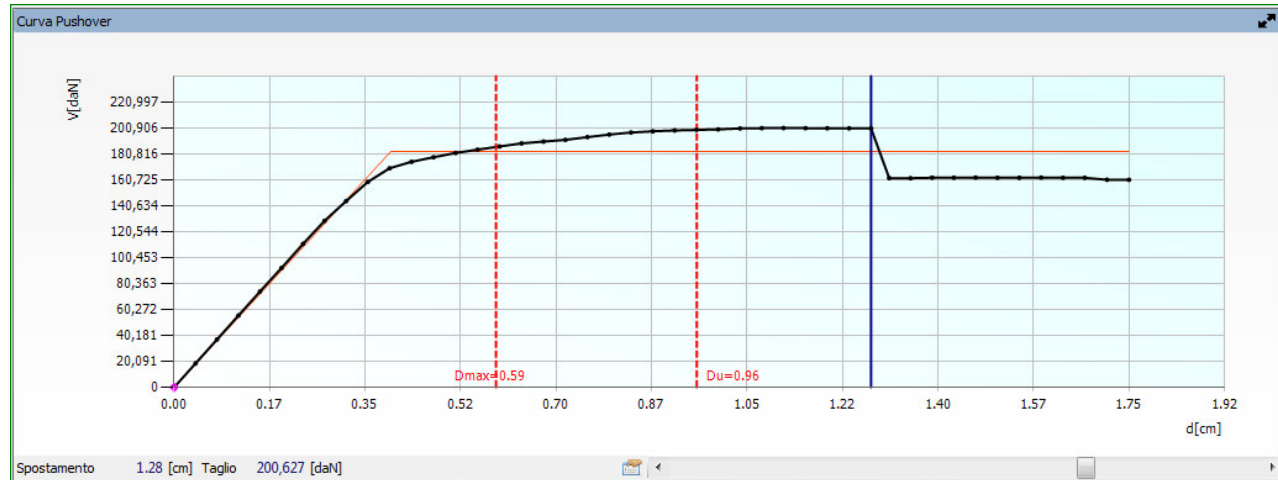
➤ Curva Push-Over analisi 11.



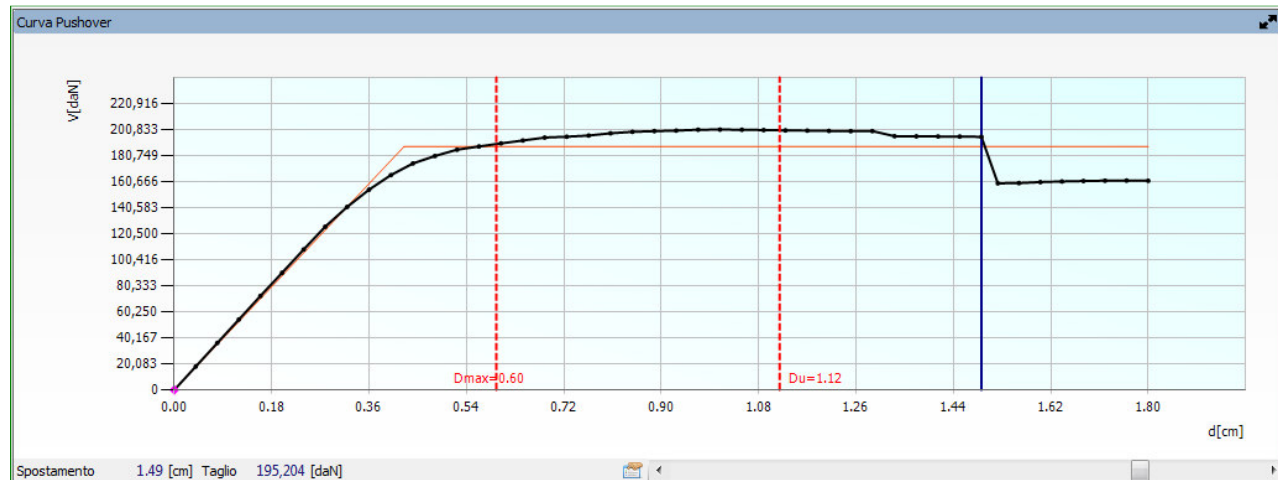
➤ Curva Push-Over analisi 12.



➤ Curva Push-Over analisi 13.



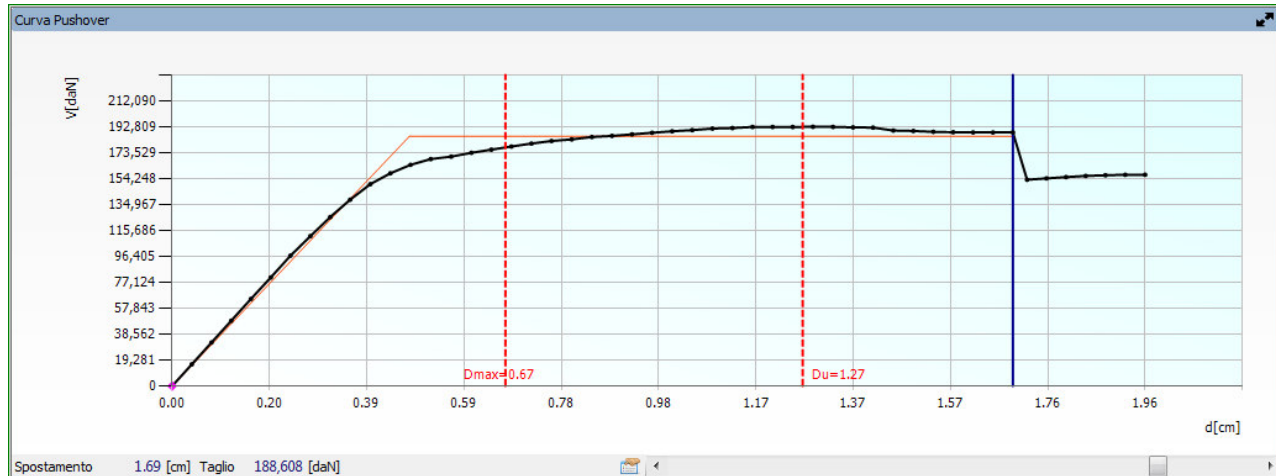
➤ Curva Push-Over analisi 14.



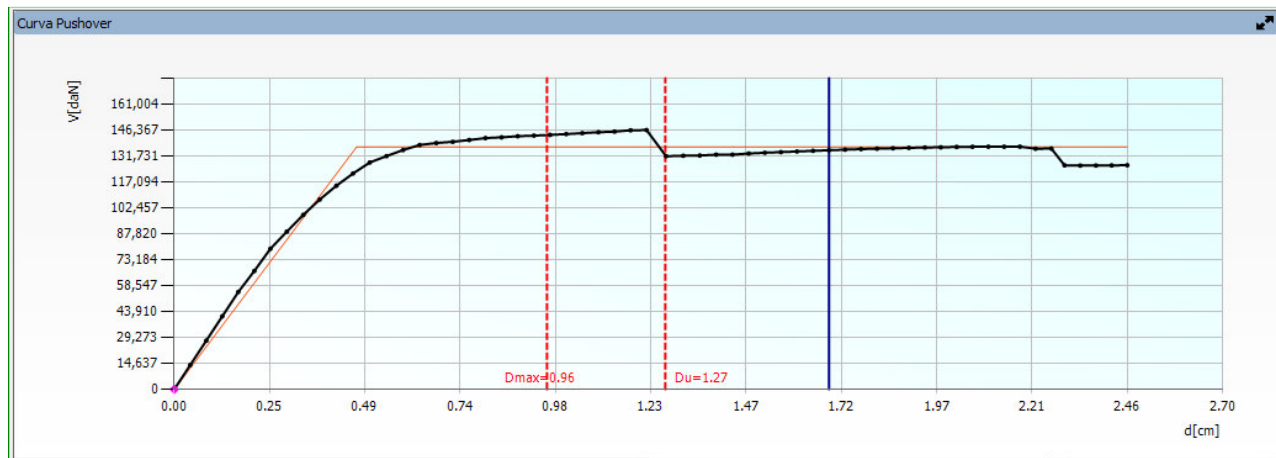
➤ Curva Push-Over analisi 15.



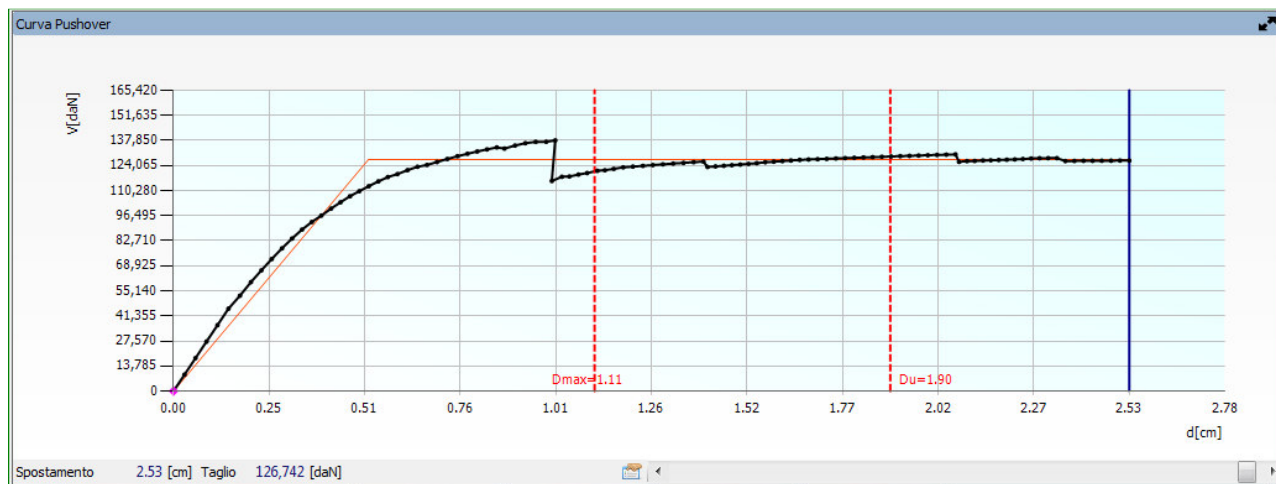
➤ Curva Push-Over analisi 16.



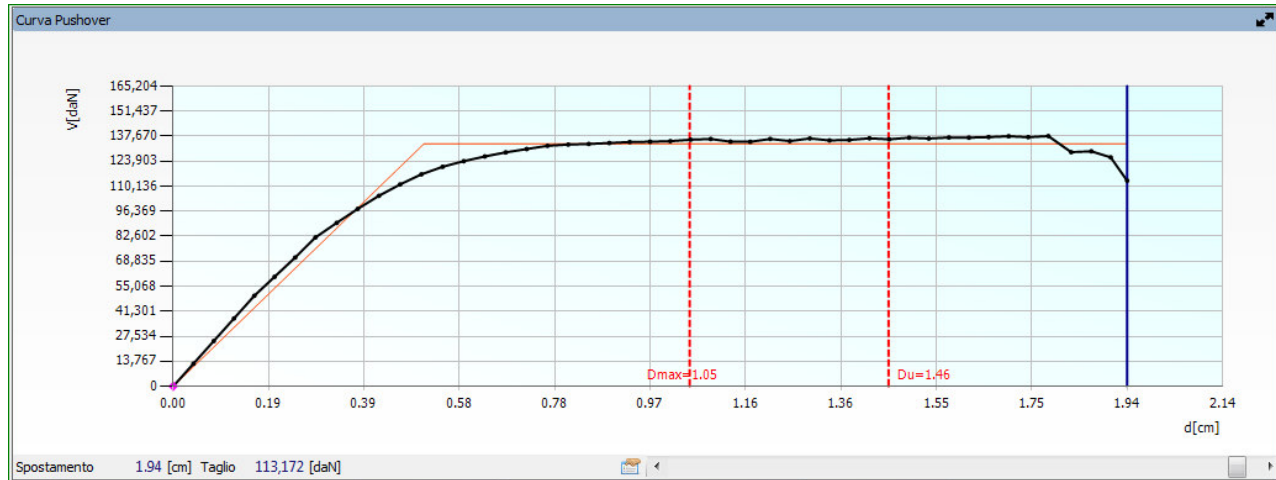
➤ Curva Push-Over analisi 17.



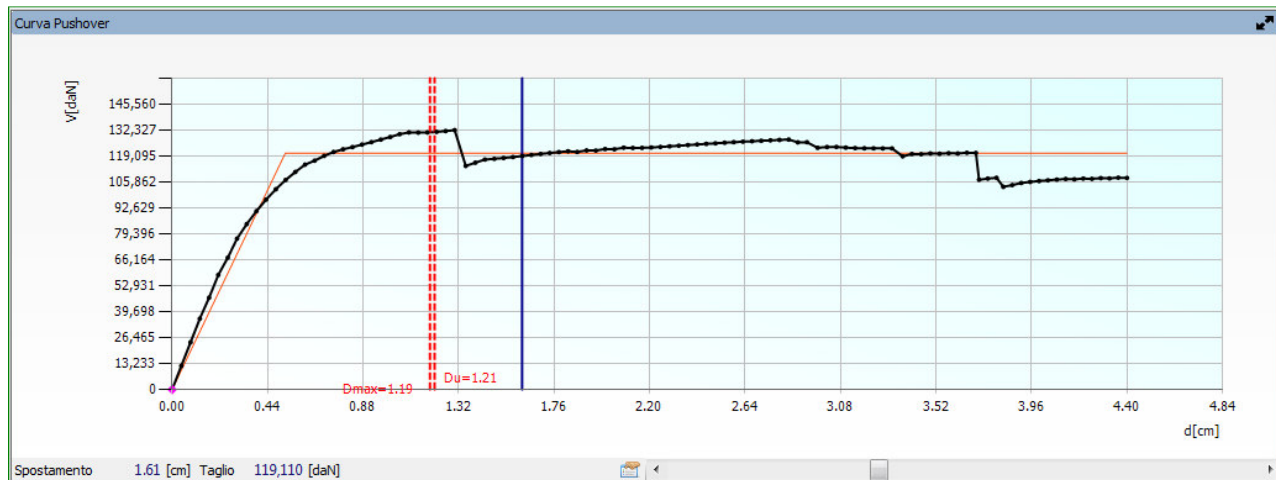
➤ Curva Push-Over analisi 18.



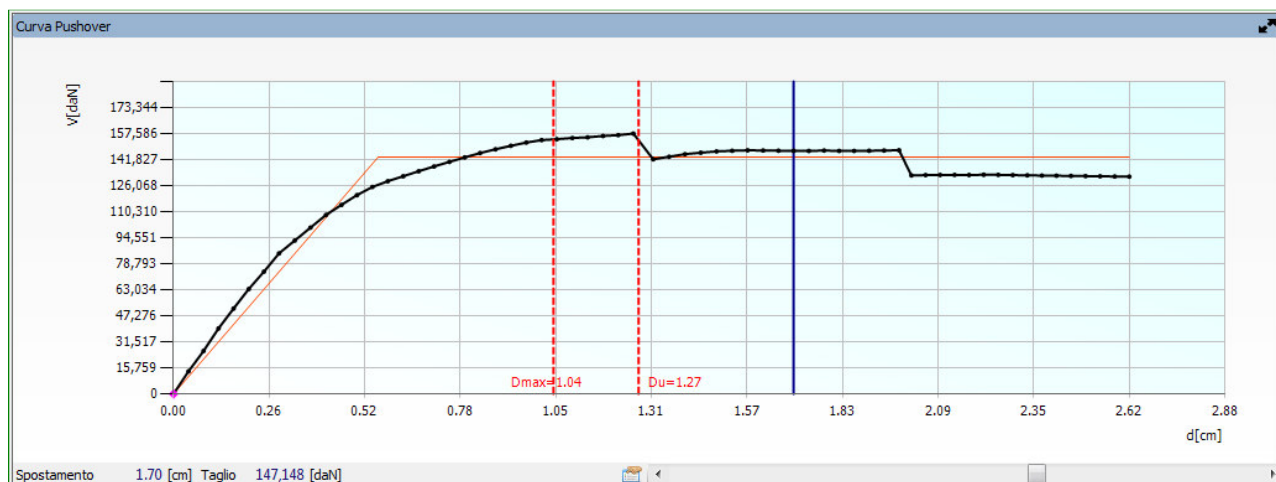
➤ Curva Push-Over analisi 19.



➤ Curva Push-Over analisi 20.

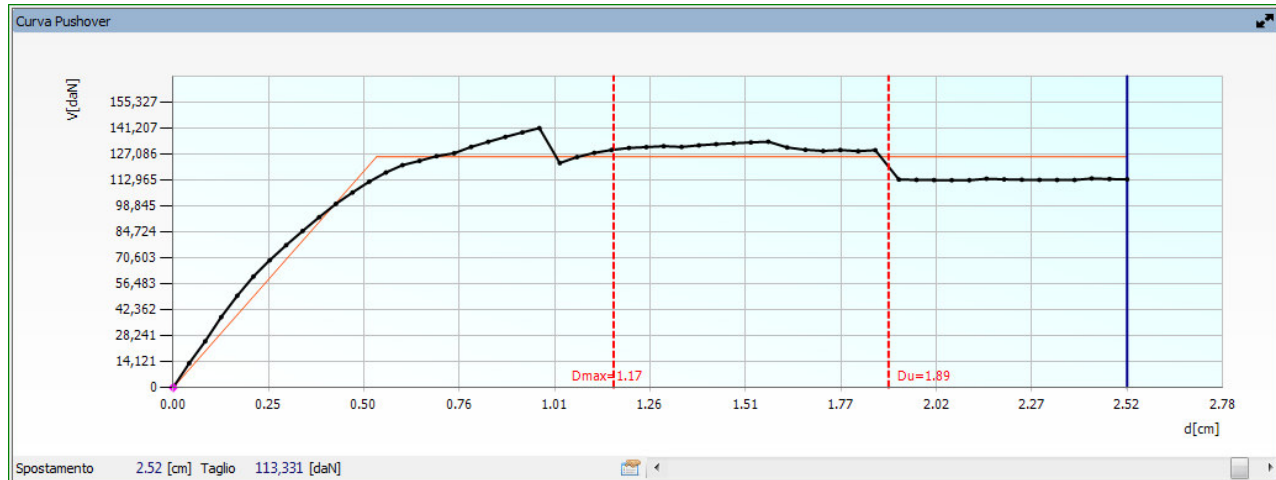


➤ Curva Push-Over analisi 21.

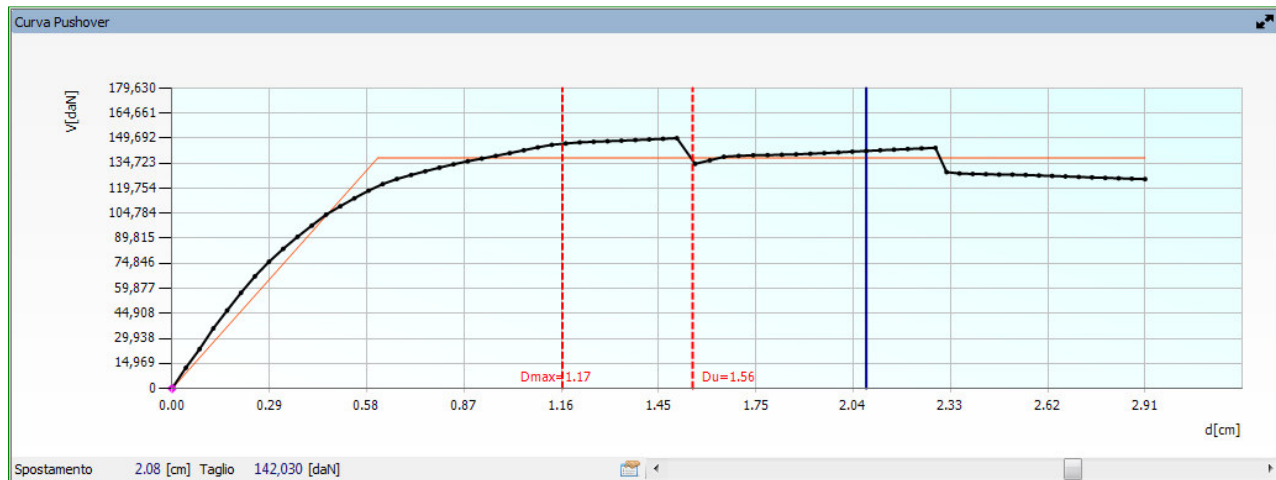




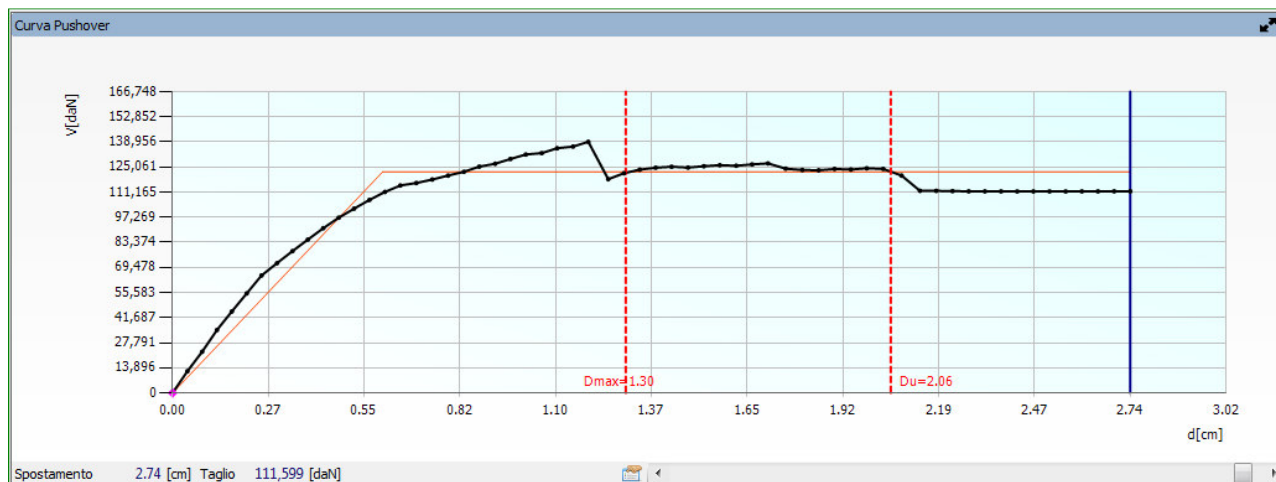
➤ Curva Push-Over analisi 22.



➤ Curva Push-Over analisi 23.

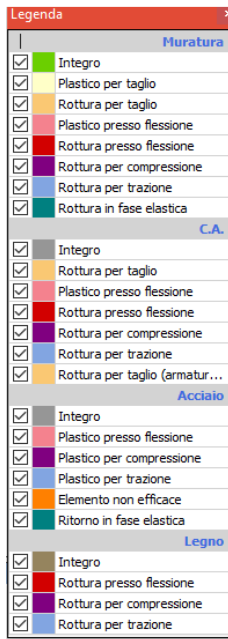


➤ Curva Push-Over analisi 24.

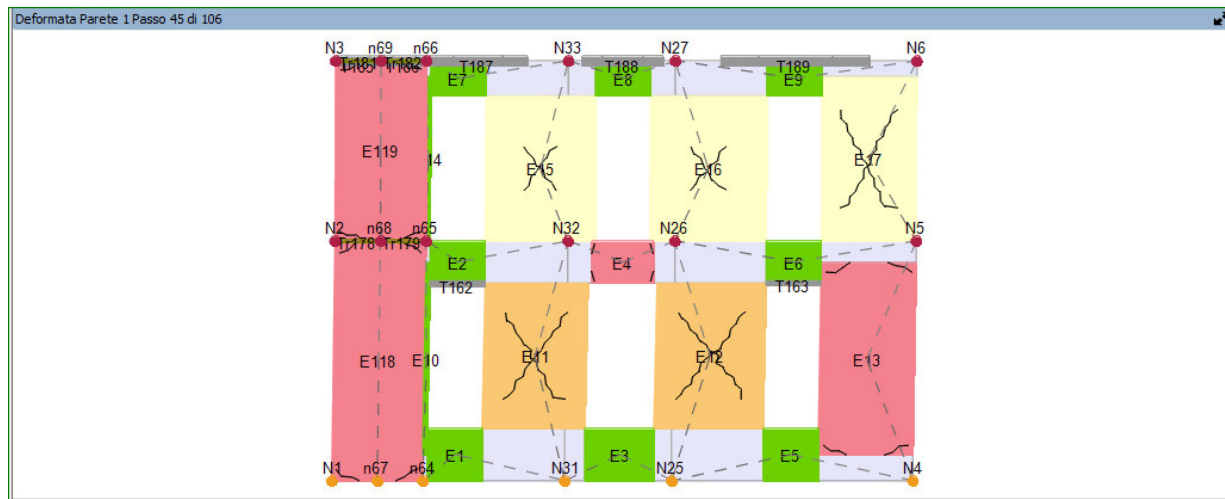


### 8.9.1 VISUALIZZAZIONE 3D DELLE PARETI NELLO STATO CORRISPONDENTE ALLO SPOSTAMENTO ULTIMO.

Si riportano gli schemi tipo delle singole pareti nella condizione di carico correlata all'analisi più gravosa in corrispondenza del passo relativo allo spostamento ultimo richiesto da normativa.



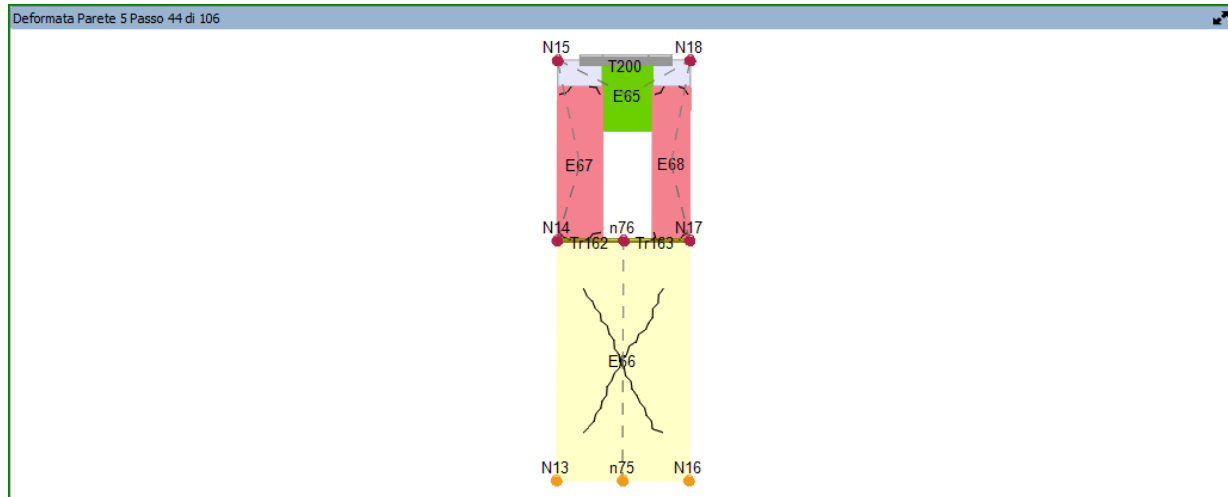
#### ➤ Parete 1 analisi 18.



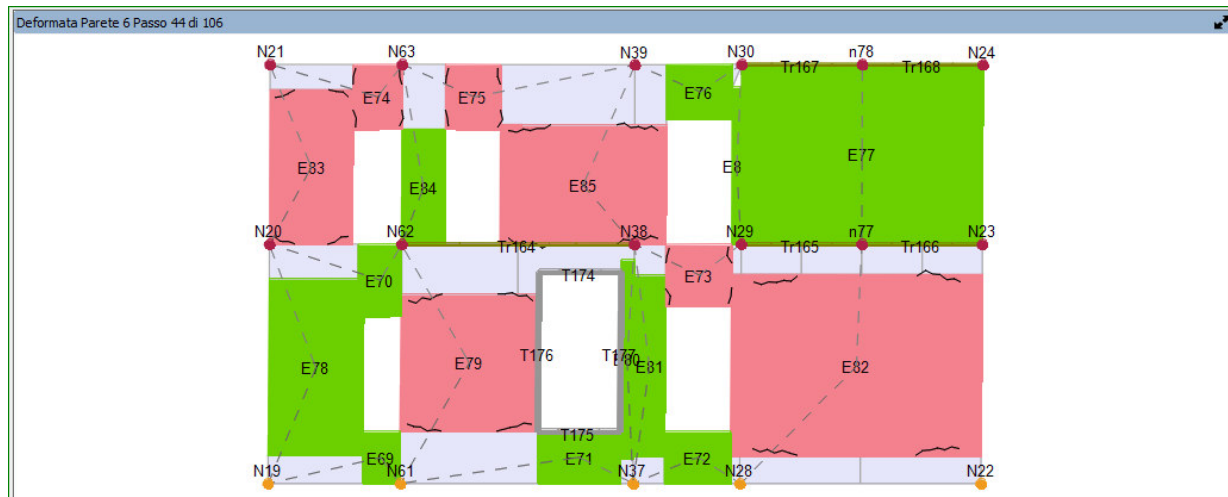




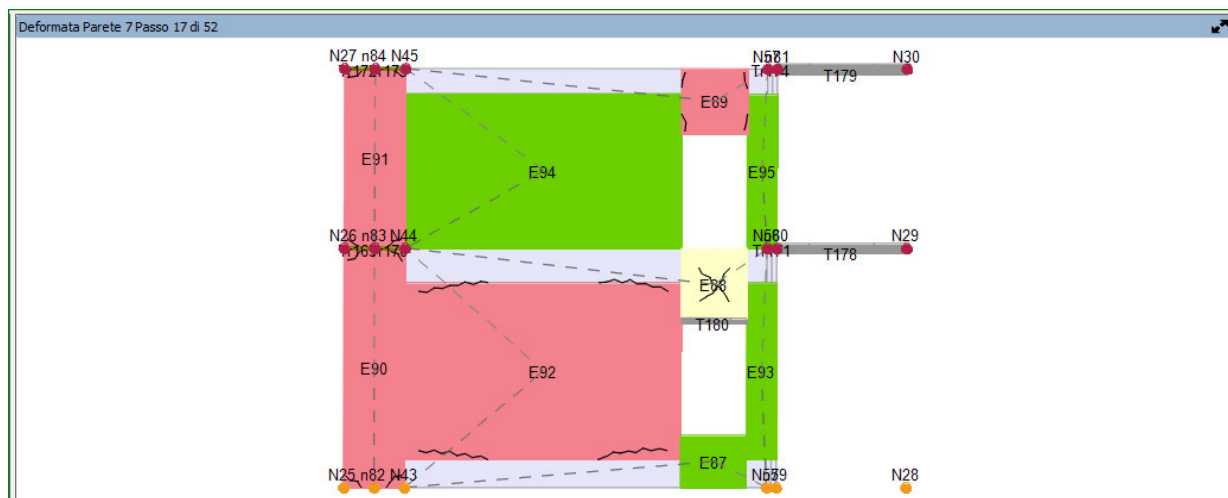
➤ Parete 5 analisi 18



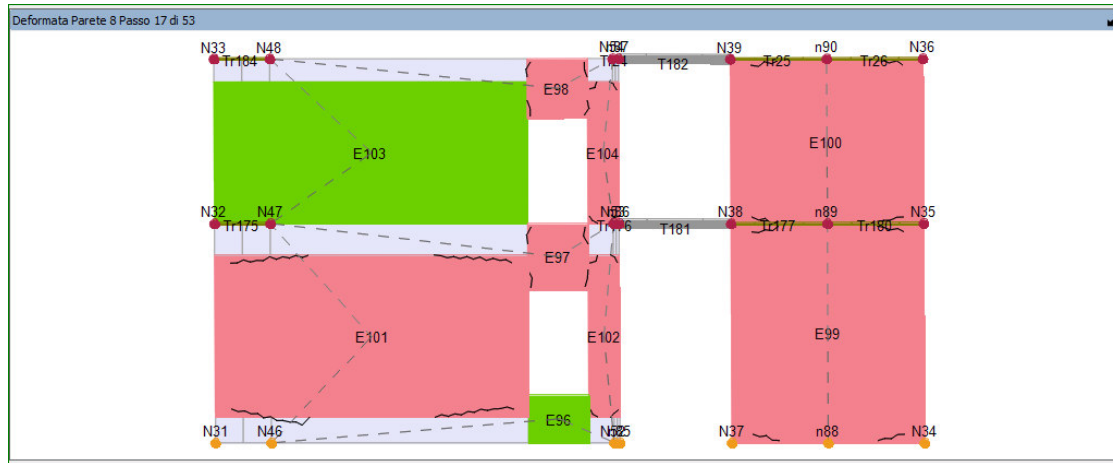
➤ Parete 6 analisi 18.



➤ Parete 7 analisi 1



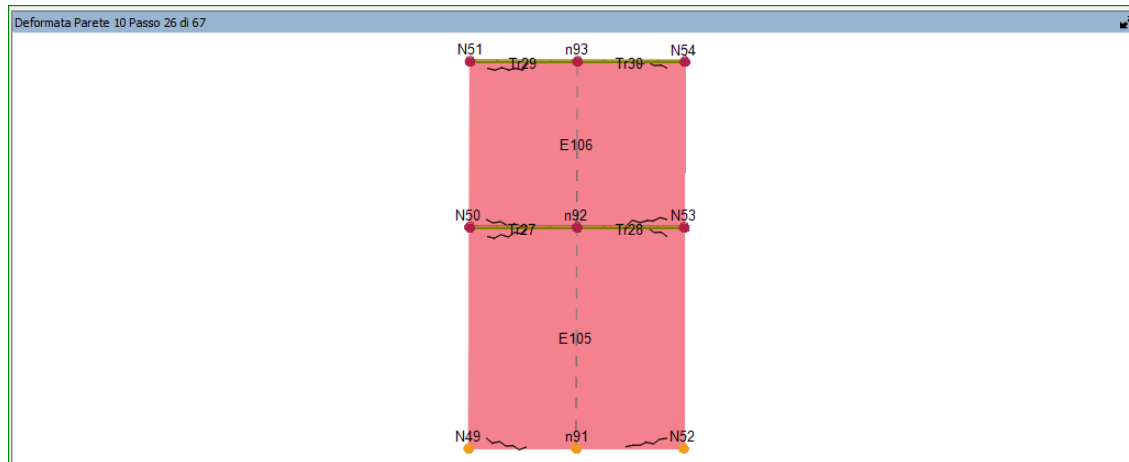
➤ Parete 8 analisi 4.



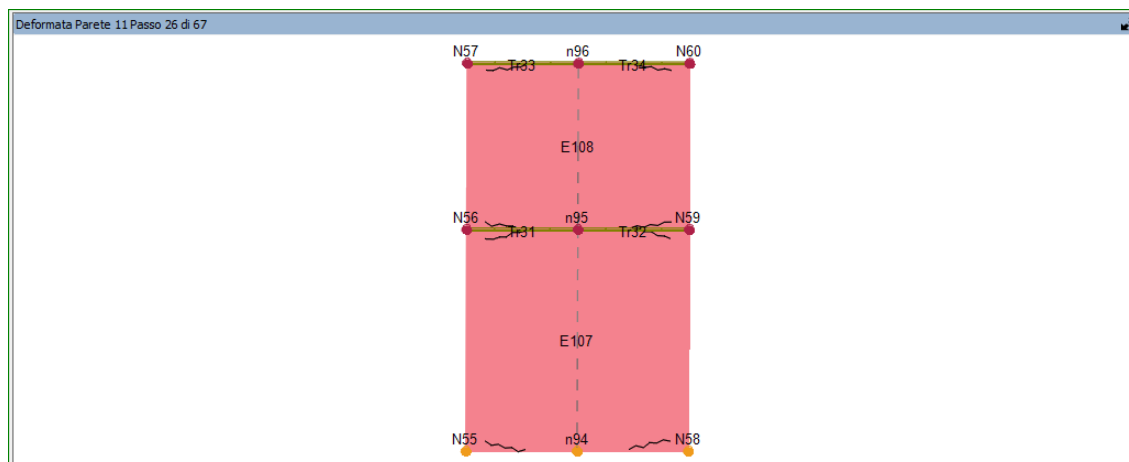
➤ Parete 9.

non significativa travi in CA

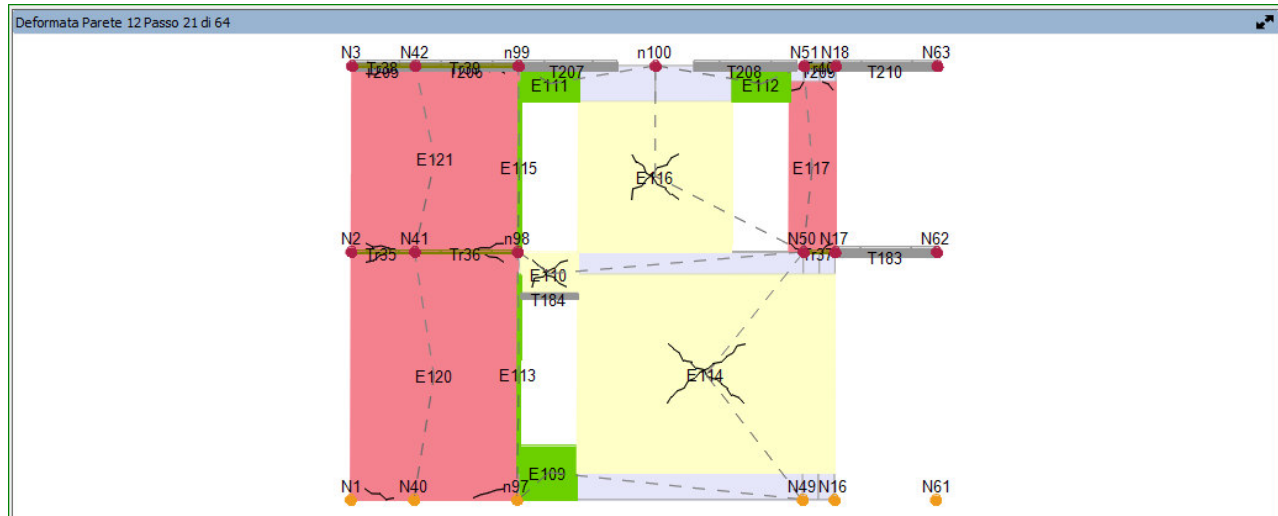
➤ Parete 10 analisi 6



➤ Parete 11 analisi 6.



➤ Parete 12 analisi 11.

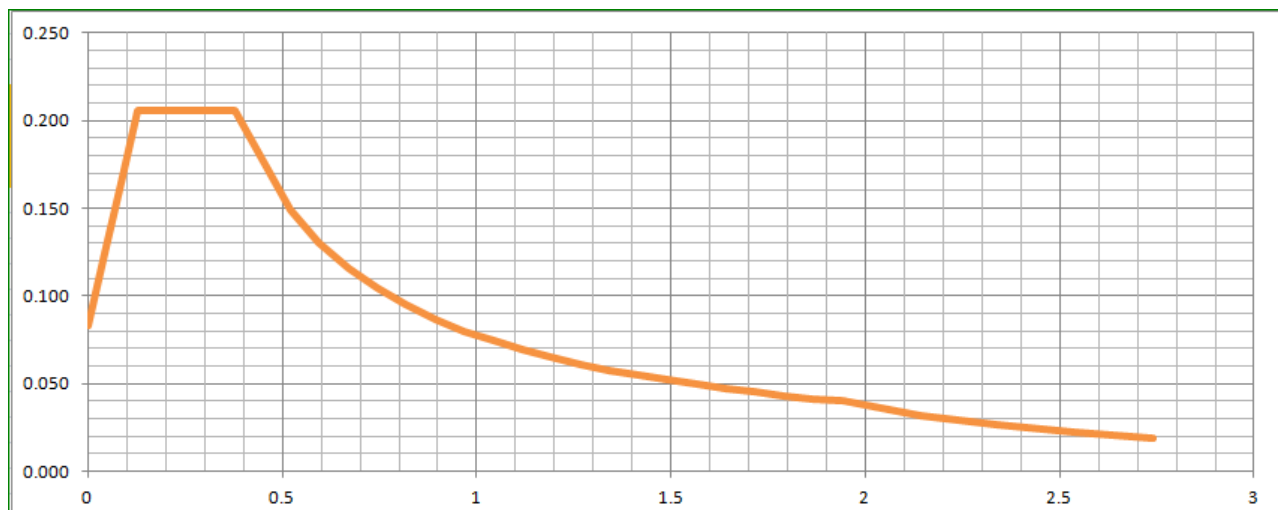


### 8.10 VERIFICHE FUORI PIANO.

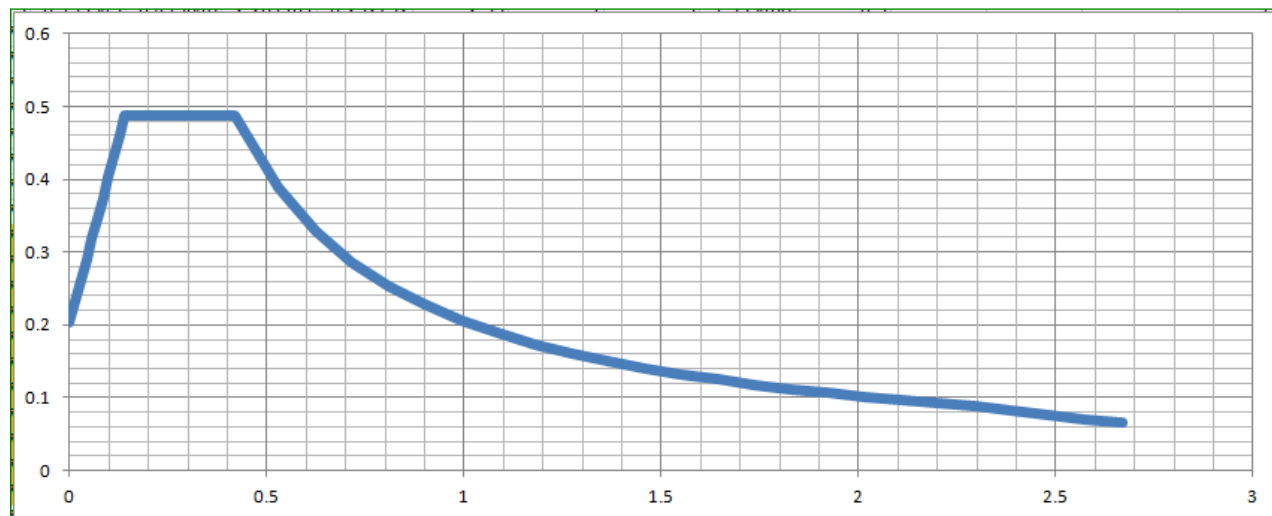
Le verifiche degli elementi murari sono state effettuate considerando i cinematismi più probabili per la struttura in esame per tratti di muratura di lunghezza unitaria. In conformità a quanto previsto al punto C8A.4 della circolare esplicativa delle N.T.C. è stata eseguita l'analisi cinematica lineare per controllare l'attivazione del cinematismo quindi si è proceduto con l'analisi cinematica non lineare per cogliere l'evolversi del cinematismo stesso considerando le diverse azioni agenti costanti all'evolversi del cinematismo stesso.

Le analisi svolte sono state eseguite su fogli di calcolo di Excel, di seguito si riportano per la parete più significativa i risultati ottenuti dalle analisi effettuate. La numerazione delle pareti è concorde allo schema riportato nella planimetria generale.

#### 8.10.1.1 Spettro SLD



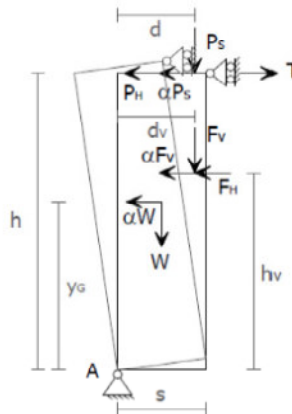
### 8.10.1.2 Spettro SLV



### 8.10.1.3 Ribaltamento semplice di parete monolitica ultimo piano

#### RIBALTAMENTO SEMPLICE DI PARETE MONOLITICA ULTIMO PIANO (CINEMATICA LINEARE)

##### DATI di INPUT



DATI MURATURA		DATI FABBRICATO	
Spessore Muratura	s1= 0.38 mt	Altezza Fabbricato	Z1= 8.4 mt
Altezza parete	H1= 3.6 mt	Altezza piano superiore parete	Z0= 8.4 mt
Peso Specifico	$\gamma_m$ = 1100 daN/mc	Forza resistente appl alla testa del muro	R1= 0 daN
Resistenza	$f_m$ = 206000 daN/mq	Numero di piani dell'edificio	N= 2
Fattore di Confidenza	FC= 1.35	DATI SOLAIO	
Larghezza maschio murario	B1= 262 cm	Carico permanente solaio adiacente	PP+SP= 320 daN/mq
pendenza parete	i= 0%	Carico variabile solaio adiacente	SV= 90 daN/mq
DATI APERTURE		Coefficiente di riduzione carichi variabili	$\Psi_{02}$ 0
Lunghezza complessiva del solaio gravante comprensivo della semilunghezza delle aperture	L4= 372 cm	Luce destra	L1= 2.4 mt
Altezza media fasce laterali	H2= 0.7 mt	Luce sinistra	L2= 0 mt
		Luce di influenza solaio non gravante	L3= 0 mt
DATI VOLTA		DATI CORDOLO	
Angolo inclinazione carico volta	$\alpha$ = 0 °	altezza cordolo	h= 0.25 mt
Altezza punto di applicazione carico volta	H3= 0 mt	base cordolo	b= 0.38 mt
DATI di OUPUT			
PESO PROPRIO			1504.80 daN/mt
PESO GRAVANTE SOPRA LA PARETE			23.13 daN/mt
PESO PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO			644.94 daN/mt
PESO NON PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO			0.00 daN/mt
DISTANZA DAL PUNTO DI ROTAZIONE DEL CARICO GRAVANTE SOPRA LA PARETE			0.185 mt
DISTANZA DAL PUNTO DI ROTAZIONE DEL PESO PROPRIO			0.185 mt
DISTANZA DAL PUNTO DI ROTAZIONE DEL CARICO TRASMESSO DAL SOLAIO			0.248 mt
A0° ACCELERAZIONE SPETTRALE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO			0.707
ACCELERAZIONE RICHIESTA			1.643
0.086479933	0.170275	196.9618	4.8
	0.068298		
		1.2	3.19818E-14
		1	1.00224
		1.2	1.642528183
			1.409159
			0.70458
VERIFICA MECCANISMO			
VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA		0.43	NON VERIFICATO SLV
VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI DANNO		0.50	NON VERIFICATO SLD

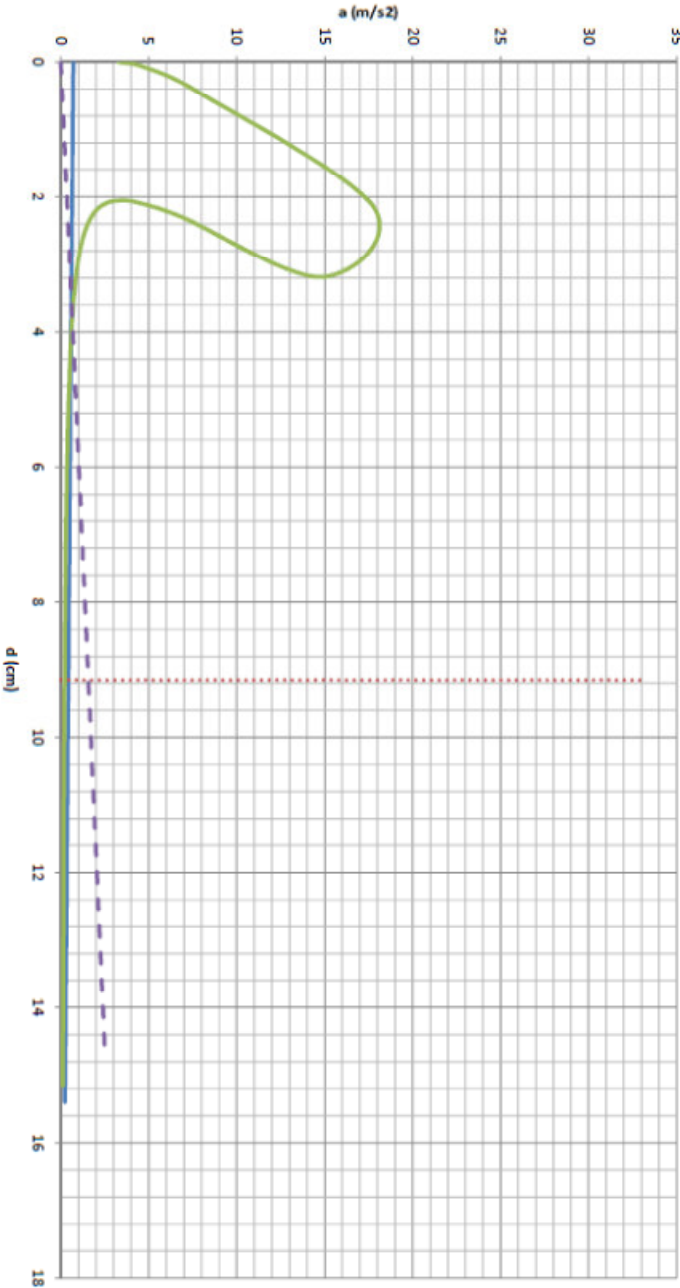
Dai risultati ottenuti in analisi cinematica lineare si evince l'attivarsi del cinematismo per cui si è resa necessaria la verifica in campo non lineare di seguito riportata

RIBALTAMENTO SEMPLICE DI PARETE MONOLITICA ULTIMO PIANO (CINEMATICA NON LINEARE)

DATI di INPUT

Periodo proprio di vibrare nella direzione ortogonale alla parete  $T_1 = 0.25113$  sec  
Accelerazione minima pari all'intersezione di  $T_s$  con Domanda  $a = 0.63$   $m/s^2$

DATI di OUTPUT



domanda di spostamento

3.82 cm

capacità di spostamento

9.16 cm

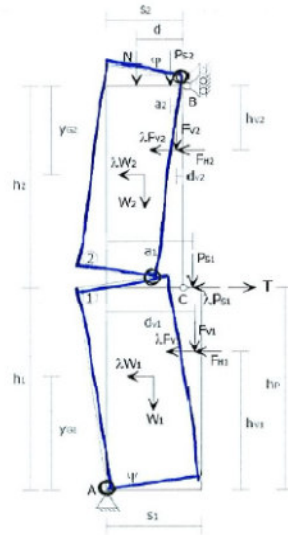
VERIFICA

Zeta SLV =

2.40

#### 8.10.1.4 Meccanismo di flessione Verticale di parete monolitica

##### MECCANISMO DI FLESSIONE VERTICALE DI PARETE MONOLITICA (CINEMATICA LINEARE)



DATI di INPUT					
DATI MURATURA			DATI FABBRICATO		
Spessore Muratura primo livello	s1=	0.38 mt	Altezza piano superiore parete	Z1=	8.4 mt
Spessore Muratura secondo livello	s2=	0.38 mt	Forza resistente generata alla base del muro	R1=	5373.316 daN
Altezza parete primo livello	h1=	4.8 mt	Numero dei piani dell'edificio	n=	2 daN/mq
Altezza parete secondo livello	h2=	3.6 mt	DATI SITO		
Resistenza	fm=	206000 daN/mq	Coefficiente topografico	ST=	1
Fattore di Confidenza	FC=	1.35	Coefficiente Stratigrafico	SS=	1.2
DATI di OUPUT					
PESO PROPRIO PARETE PRIMO LIVELLO					2006.40 daN/mt
PESO PROPRIO PARETE SECONDO LIVELLO					1504.80 daN/mt
PESO PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO PRIMO LIVELLO					1217.18 daN/mt
PESO PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO SECONDO LIVELLO					644.94 daN/mt
PESO NON PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO DEL PRIMO LIVELLO					0.00 daN/mt
PESO NON PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO DEL SECONDO LIVELLO					0.00 daN/mt
A0* ACCELERAZIONE SPETTRALE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO					0.94
ACCELERAZIONE RICHIESTA					1.44
VERIFICA MECCANISMO					
VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA			0.65	NON VERIFICATO SLV	
VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI DANNO			0.76	NON VERIFICATO SLD	

Dai risultati ottenuti in analisi cinematica lineare si evince l'attivarsi del cinematisimo per cui si è resa necessaria la verifica in campo non lineare di seguito riportata:



PROGETTO DEFINITIVO  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

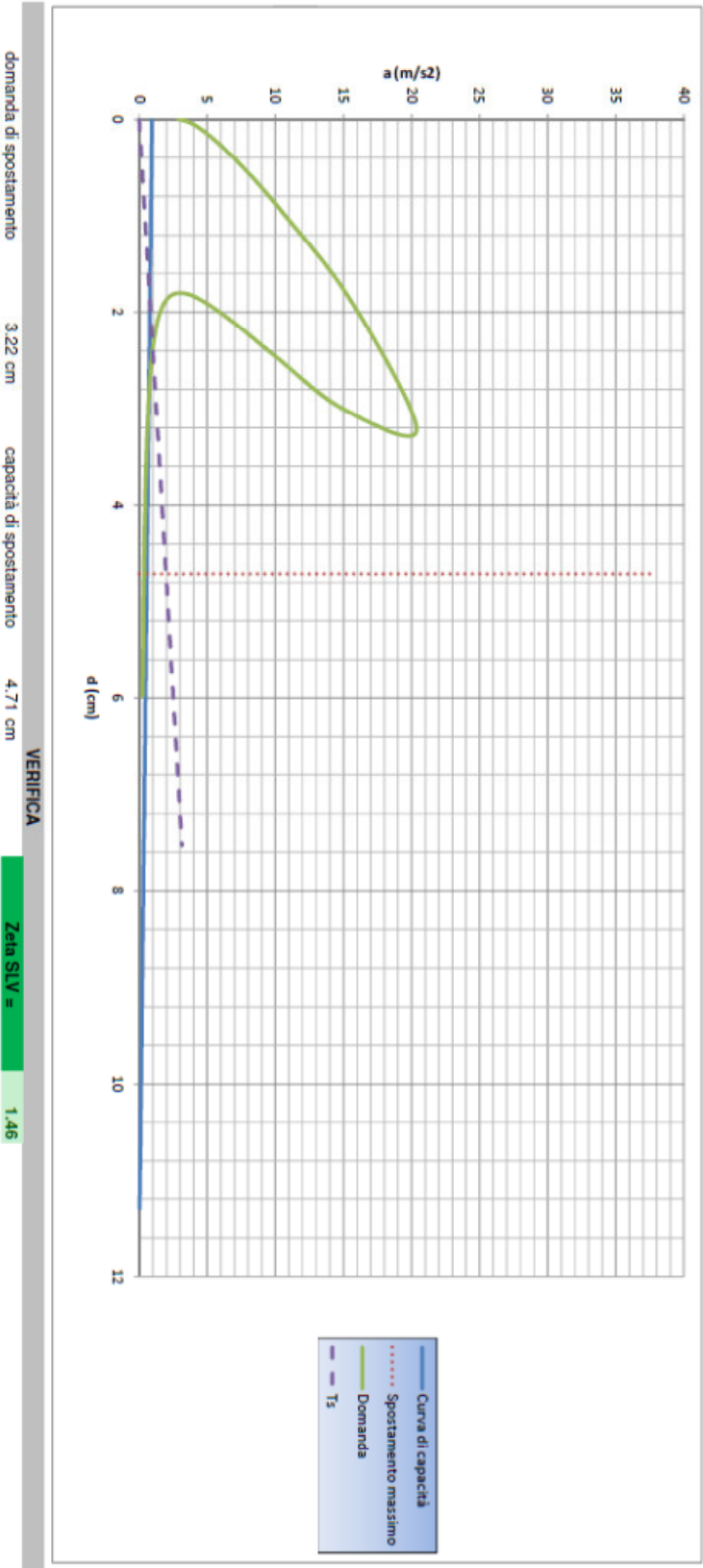
Relazione di Calcolo  
Strutturale

RIBALTAMENTO SEMPLICE PARETE MONOLITICA ULTIMO PIANO VERIFICA CINEMATICA NON LINEARE

DATI di INPUT

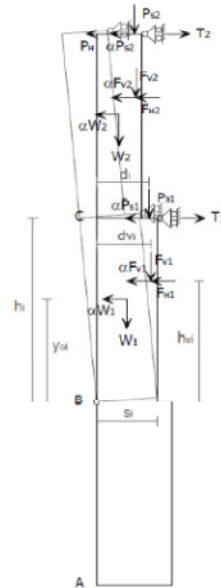
Periodo proprio di vibrare nella direzione ortogonale alla parete  $T_1 = 0.25113$  sec  
Accelerazione minima pari all'intersezione di  $T_s$  con Domanda  $a = 1$  m/s<sup>2</sup>

DATI di OUTPUT



### 8.10.1.5 Meccanismo di ribaltamento semplice di parete monolitica

#### MECCANISMO DI RIBALTAMENTO DI PARETE SEMPLICE MONOLITICA (ANALISI LINEARE)

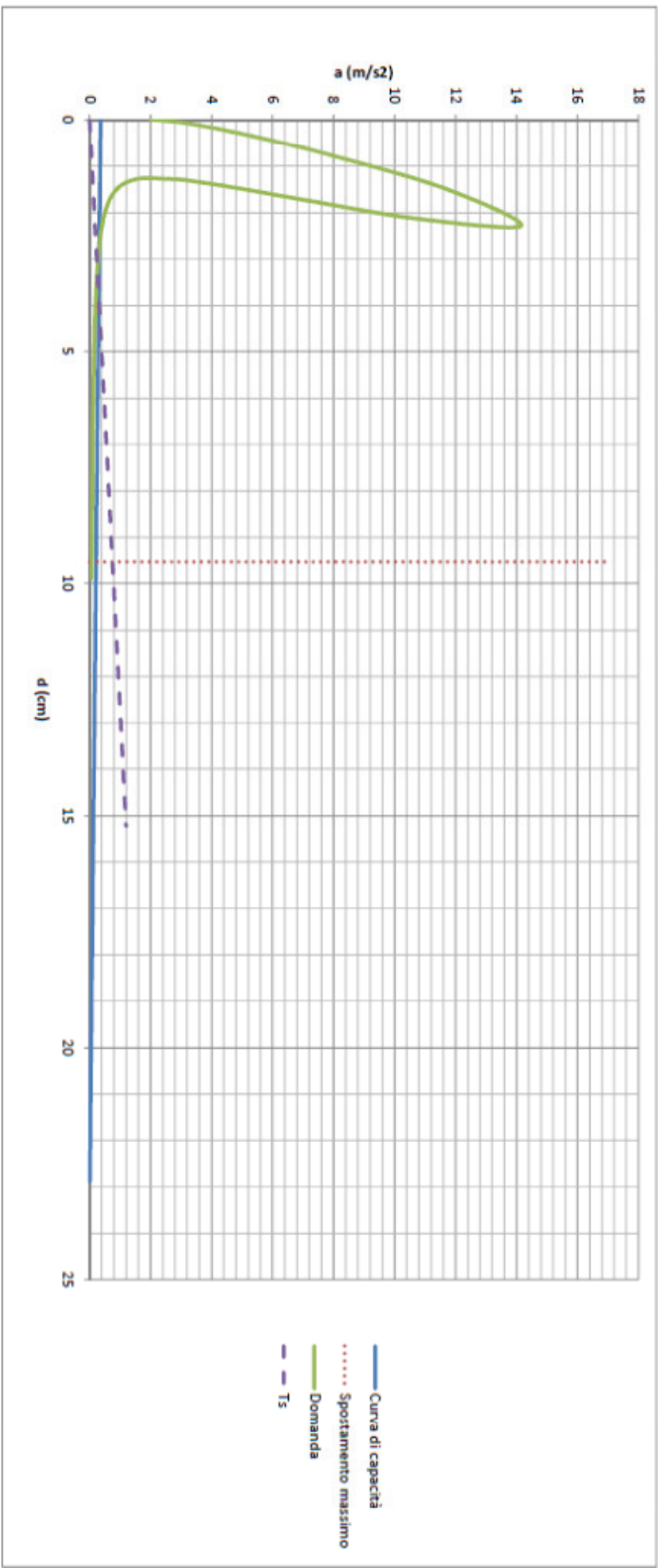


DATI di INPUT					
DATI MURATURA			DATI FABBRICATO		
Spessore Muratura primo livello	s1=	0.38 mt	Altezza piano superiore parete	Z1=	8.4 mt
Spessore Muratura secondo livello	s2=	0.38 mt	Numero dei piani dell'edificio	n=	2
Altezza parete primo livello	h1=	4.8 mt	DATI SITO		
Altezza parete secondo livello	h2=	3.6 mt	Coefficiente topografico	ST=	1
Resistenza	fm=	206000 daN/mq	Coefficiente Stratigrafico	SS=	1.2
Fattore di Confidenza	FC=	1.35			
DATI di OUPUT					
PESO PROPRIO PARETE PRIMO LIVELLO				2006.40 daN/mt	
PESO PROPRIO PARETE SECONDO LIVELLO				1504.80 daN/mt	
PESO PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO PRIMO LIVELLO				1217.18 daN/mt	
PESO PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO SECONDO LIVELLO				644.94 daN/mt	
PESO NON PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO DEL PRIMO LIVELLO				0.00 daN/mt	
PESO NON PORTATO INDOTTO DAL SOLAIO DEL SECONDO LIVELLO				0.00 daN/mt	
A0* ACCELERAZIONE SPETTRALE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO				0.36	
ACCELLERAZIONE RICHIESTA				1.00	
VERIFICA MECCANISMO					
VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI SALVGUARDIA DELLA VITA			0.36		NON VERIFICATO SLV
VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI DANNO			0.44		NON VERIFICATO SLD

Dai risultati ottenuti in analisi cinematica lineare si evince l'attivarsi del cinematismo per cui si è resa necessaria la verifica in campo non lineare di seguito riportata:

MECCANISMO DI RIBALTAMENTO DI PARETE SEMPLICE MONOLITICA (ANALISI NON LINEARE)

Periodo proprio di vibrare nella direzione ortogonale alla parete  $T_1 = 0.25113$  sec  
Accelerazione minima pari all'intersezione di  $T_1$  con Domanda  $a = 0.49$  m/s<sup>2</sup>  
DATI di INPUT  
DATI di OUPUT



domanda di spostamento

2.27 cm

capacità di spostamento

9.52 cm

VERIFICA

Zeta SLV =

4.19

## 8.11 **PRESSOFLESSIONE FUORI PIANO**

### **Verifiche fuori piano**

Nelle vigenti normative tecniche, il capitolo dedicato ai metodi di analisi riporta l'applicabilità dei vari metodi di calcolo:

- ✓ Analisi lineare statica
- ✓ Analisi dinamica modale
- ✓ Analisi statica non lineare
- ✓ Analisi dinamica non lineare

Nel caso specifico di analisi statica non lineare non si trova alcun riferimento a procedure per eseguire verifiche fuori piano della muratura, per trovare maggiori informazioni è necessario fare riferimento ai capitoli di analisi lineare statica e analisi dinamica modale che suggeriscono l'utilizzo del metodo di calcolo attualmente impiegato per gli elementi non strutturali.

### **8.11.1 METODO DI CALCOLO**

#### **Momento sollecitante**

Le verifiche fuori piano possono essere eseguite separatamente assumendo  $q_a = 3$ . Più precisamente l'azione sismica ortogonale alla parete può essere rappresentata da una forza orizzontale pari a  $S_a/q_a$  volte il carico verticale.

Per le pareti resistenti al sisma si può assumere per  $S_a$  la seguente espressione:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot [1.5 \cdot (1 - Z/H) - 0.5] \geq \alpha \cdot S$$

dove:

- ✓  $\alpha$  : rapporto tra accelerazione massima del terreno  $a_g$  su sottosuolo tipo A per lo stato limite in esame e l'accelerazione di gravità  $g$ ;
- ✓  $S$ : coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- ✓  $Z$ : quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione
- ✓  $H$  : altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione;

Si assume quindi una forza orizzontale  $F_h$  definita  $F_h = N \times S_a/q_a$  dove  $N$  è il peso del maschio murario.

Tale forza deve però essere assunta uniformemente distribuita lungo l'altezza del pannello murario calcolata come  $q_h = F_h/h_a$

Ipotizzando che il pannello murario sia incernierato in corrispondenza dei solai, il momento sollecitante massimo sarà a metà altezza del maschio definito come  $M_{ed} = qh \times h_e^2 / \text{coef}$  dove  $h_e$  è l'altezza equivalente di calcolo del maschio pari all'altezza del livello e  $\text{coef}=10$ .

### Momento resistente

Per procedere al calcolo del momento ultimo  $M_{Rd}$  è necessario che sia superata la verifica a compressione centrata:

$$N \leq N_{Rd} = 0.85 \cdot f_d \cdot l \cdot t$$

dove:

- ✓  $f_d$ : resistenza di progetto della muratura
- ✓  $l$ : lunghezza del pannello murario
- ✓  $t$ : spessore della muratura

Il momento ultimo sarà calcolato con la seguente formulazione:

$$M_{Rd} = \left( t^2 \cdot l \cdot \frac{\sigma_0}{2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0.85 \cdot f_d} \right)$$

dove  $\sigma_0$  è definita come la tensione media nel maschio

### Verifica

La verifica viene condotta mediante il confronto  $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ ; il corrispondente coefficiente di sicurezza sarà individuato mediante il rapporto  $M_{Rd} / M_{Ed}$ . La verifica sarà pertanto da ritenersi superata qualora il coefficiente di sicurezza risulti maggiore di uno.

Con  $PGA_{CLi}$  si intende l'accelerazione di capacità che porterebbe al raggiungimento della condizione limite il maschio in esame con riferimento all'i-esimo Stato limite.

### 8.12 DETTAGLIO VERIFICHE

Parete: 1

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
118	9,209	50,513	0.28	20,480	143,071	11.20	6.99	Sì
119	5,434	50,513	0.43	17,568	92,134	8.41	5.24	Sì
10	507	2,402	0.28	974	7,596	12.50	7.80	Sì
11	11,323	57,150	0.28	23,171	172,517	11.93	7.45	Sì
12	11,320	60,678	0.28	24,601	174,957	11.40	7.11	Sì
13	9,824	52,714	0.28	21,372	151,867	11.39	7.11	Sì

14	204	2,402	0.43	835	3,545	6.80	4.24	Sì
15	4,713	60,927	0.43	21,190	82,617	6.25	3.90	Sì
16	4,401	64,664	0.43	22,489	77,921	5.55	3.46	Sì
17	6,411	52,714	0.43	18,333	106,994	9.35	5.84	Sì

Parete: 2

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
30	8,633	43,527	0.28	17,647	131,499	11.94	7.45	Sì
31	19,530	84,559	0.28	34,283	285,369	13.34	8.32	Sì
32	15,506	53,754	0.28	21,794	209,632	15.42	9.62	Sì
33	20,401	80,431	0.28	32,610	289,303	14.22	8.87	Sì
34	8,015	45,468	0.28	18,434	125,439	10.91	6.80	Sì
35	5,676	43,527	0.43	15,138	93,786	9.93	6.20	Sì
36	7,964	84,559	0.43	29,409	137,061	7.47	4.66	Sì
37	6,449	72,637	0.43	25,263	111,656	7.08	4.42	Sì
38	6,057	62,934	0.43	21,888	104,002	7.62	4.75	Sì
39	5,590	45,468	0.43	15,813	93,148	9.44	5.89	Sì

Parete: 3

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
46	26,707	149,433	0.28	60,586	416,738	11.03	6.88	Sì
47	32,693	201,000	0.28	81,493	520,131	10.23	6.38	Sì
48	4,306	43,439	0.43	15,108	73,711	7.82	4.88	Sì
49	7,942	64,370	0.43	22,387	132,287	9.47	5.91	Sì
50	4,778	61,901	0.43	21,529	83,776	6.24	3.89	Sì
51	5,717	61,748	0.43	21,475	98,568	7.36	4.59	Sì
52	5,963	43,288	0.43	15,055	97,692	10.40	6.49	Sì

Parete: 4

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
59	3,411	18,852	0.28	7,643	53,081	11.13	6.94	Sì
60	11,728	36,191	0.28	14,673	150,623	16.45	10.27	Sì
61	10,144	47,536	0.28	19,273	151,606	12.61	7.87	Sì
62	1,895	18,852	0.43	6,557	32,385	7.92	4.94	Sì
63	4,485	36,226	0.43	12,599	74,666	9.50	5.93	Sì
64	4,838	47,501	0.43	16,520	82,559	8.01	5.00	Sì

Parete: 5

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
66	11,411	73,469	0.28	29,787	183,131	9.85	6.15	Sì
67	2,989	24,972	0.43	8,685	49,998	9.23	5.76	Sì
68	2,949	20,773	0.43	7,224	48,083	10.67	6.66	Sì

## Parete: 6

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
77	15,337	178,068	0.43	50,183	175,200	5.60	3.49	Sì
78	7,408	46,487	0.28	22,909	77,844	5.45	3.40	Sì
79	17,954	67,696	0.28	33,361	164,903	7.92	4.94	Sì
80	1,072	6,507	0.28	3,207	11,189	5.59	3.49	Sì
81	4,122	23,210	0.28	7,625	42,375	8.91	5.56	Sì
82	31,461	185,082	0.28	60,805	326,416	8.60	5.37	Sì
83	3,108	40,865	0.43	17,275	35,898	3.33	2.08	Sì
84	3,420	21,506	0.43	9,091	35,953	6.34	3.95	Sì
85	9,192	81,651	0.43	34,516	101,960	4.74	2.95	Sì
86	629	4,676	0.43	1,977	6,803	5.52	3.44	Sì

## Parete: 7

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
90	3,874	34,003	0.28	13,786	65,223	7.58	4.73	Sì
91	2,223	34,003	0.43	11,826	39,481	5.35	3.34	Sì
92	42,776	283,740	0.28	80,789	544,904	10.81	6.74	Sì
93	7,398	30,589	0.28	8,709	84,130	15.48	9.66	Sì
94	14,399	136,616	0.43	57,751	161,015	4.47	2.79	Sì
95	1,867	14,728	0.43	6,226	20,377	5.25	3.27	Sì

## Parete: 8

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
99	31,749	215,475	0.28	61,352	406,069	10.61	6.62	Sì
100	8,741	155,621	0.43	43,857	103,125	3.77	2.35	Sì
101	49,808	350,370	0.28	99,760	640,909	10.30	6.42	Sì
102	7,854	34,704	0.28	9,881	91,152	14.79	9.22	Sì
103	18,847	253,045	0.43	71,313	218,045	4.90	3.06	Sì
104	2,017	25,064	0.43	7,064	23,187	5.26	3.28	Sì

## Parete: 10

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
105	14,042	114,552	0.28	56,451	154,013	4.37	2.73	Sì
106	7,860	114,552	0.43	48,424	91,511	3.03	1.89	Sì

## Parete: 11

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
107	21,369	178,068	0.28	58,501	235,056	6.44	4.02	Sì
108	14,119	178,068	0.43	50,183	162,492	5.19	3.24	Sì

Parete: 12

N.	Ned [daN]	NRd [daN]	Sa [m/s <sup>2</sup> ]	Med [daNcm]	MRd [daNcm]	PGAc [m/s <sup>2</sup> ]	MRd/Med	Verificato
120	17,440	89,231	0.28	36,178	266,592	11.81	7.37	Sì
121	9,352	89,231	0.43	31,034	159,065	8.22	5.13	Sì
113	425	1,738	0.28	705	6,103	13.88	8.66	Sì
114	28,883	138,033	0.28	55,964	433,951	12.43	7.75	Sì
115	128	1,600	0.43	556	2,234	6.44	4.02	Sì
116	7,660	82,307	0.43	28,626	131,988	7.39	4.61	Sì
117	3,007	24,813	0.43	8,630	50,202	9.32	5.82	Sì

### 8.13 VERIFICA STATICA

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

#### Snellezza della muratura

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.4. del D.M.2018.

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

$h_0$ : lunghezza libera di inflessione del muro pari a  $\rho \cdot h$ ;

t: spessore del muro.

h: l'altezza interna di piano;

$\rho$ : il fattore laterale di vincolo.

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

$$h_0/t < 20$$

#### Eccentricità dei carichi

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2. del D.M.2018.

Tale verifica risulta soddisfatta qualora risultino verificate le seguenti condizioni:

$$e_1/t \leq 0.33$$

$$e_2/t \leq 0.33$$

in cui:

t: spessore del muro

$$e_1 = |e_s| + |e_a| \quad ; \quad e_2 = \frac{e_1}{2} + |e_v|$$

$e_s$ : eccentricità totale dei carichi verticali



$e_a$ :  $h/200$

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

### Verifica a carichi verticali

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2. del D.M.2018.

Tale verifica risulta soddisfatta qualora risulti verificata la seguente:

$$N_d \leq N_r$$

in cui:

$N_d$ : carico verticale agente

$N_r$  : carico verticale resistente;  $N_r = \phi f_d A$

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

$f_d$ : resistenza di calcolo della muratura;

$\phi$ : coefficiente di riduzione della resistenza del muro

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

I valori dello sforzo normale resistente saranno calcolabili solamente se le verifiche di snellezza ed eccentricità dei carichi risultano soddisfatte. Riportiamo nel seguito i dettagli di verifica per le singole pareti.

### Parete : 1

Maschio	h <sub>o</sub> [cm]	t [cm]	h <sub>o</sub> /t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
10	480	38	12.632	0.033	0.098	0.029	Sì
11	480	38	12.632	0.040	0.106	0.035	Sì
12	480	38	12.632	0.036	0.108	0.032	Sì
13	480	38	12.632	0.013	0.096	0.013	Sì
14	360	38	9.474	0.035	0.136	0.024	Sì
15	360	38	9.474	0.022	0.148	0.016	Sì
16	360	38	9.474	0.010	0.165	0.010	Sì
17	360	38	9.474	0.009	0.082	0.009	Sì
118	480	38	12.632	0.033	0.110	0.027	Sì
119	360	38	9.474	0.039	0.107	0.028	Sì

Superiore				Centrale				Inferiore				Verificato
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 97 di 113**

10	627	0.679	1,535	0.408	718	0.514	1,162	0.618	809	0.692	1,564	0.517	Sì
11	14,359	0.661	35,563	0.404	15,983	0.497	26,738	0.598	17,607	0.675	36,304	0.485	Sì
12	14,720	0.671	38,303	0.384	16,445	0.495	28,257	0.582	18,170	0.683	39,009	0.466	Sì
13	12,433	0.736	36,505	0.341	14,422	0.517	25,639	0.562	16,410	0.736	36,505	0.450	Sì
14	194	0.767	1,734	0.112	272	0.520	1,174	0.232	350	0.801	1,810	0.193	Sì
15	4,333	0.807	46,248	0.094	6,064	0.496	28,451	0.213	7,796	0.823	47,178	0.165	Sì
16	3,751	0.841	51,186	0.073	5,589	0.464	28,212	0.198	7,426	0.842	51,245	0.145	Sì
17	7,766	0.843	41,825	0.186	9,464	0.625	31,012	0.305	11,163	0.843	41,825	0.267	Sì
118	10,628	0.680	32,334	0.329	13,004	0.490	23,298	0.558	15,380	0.697	33,151	0.464	Sì
119	5,890	0.753	35,796	0.165	7,672	0.574	27,310	0.281	9,454	0.787	37,410	0.253	Sì

Parete : 2

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
30	480	38	12.632	0.051	0.106	0.042	Sì
31	480	38	12.632	0.068	0.105	0.060	Sì
32	480	38	12.632	0.040	0.079	0.037	Sì
33	480	38	12.632	0.015	0.075	0.014	Sì
34	480	38	12.632	0.013	0.101	0.013	Sì
35	360	38	9.474	0.037	0.084	0.030	Sì
36	360	38	9.474	0.080	0.140	0.054	Sì
37	360	38	9.474	0.039	0.123	0.028	Sì
38	360	38	9.474	0.015	0.121	0.013	Sì
39	360	38	9.474	0.009	0.079	0.009	Sì

Superiore					Centrale				Inferiore					Verificat o
Maschi o	Nd	Φ	Nr	Nd/Nr	Nd	Φ	Nr	Nd/Nr	Nd	Φ	Nr	Nd/Nr		
30	11,186	0.632	25,880	0.432	12,829	0.497	20,379	0.630	14,471	0.655	26,847	0.539	Sì	
31	26,169	0.583	46,387	0.564	28,572	0.501	39,848	0.717	30,975	0.607	48,275	0.642	Sì	
32	20,960	0.660	33,414	0.627	22,250	0.554	28,047	0.793	23,541	0.669	33,832	0.696	Sì	
33	27,155	0.730	55,268	0.491	29,087	0.564	42,663	0.682	31,018	0.731	55,322	0.561	Sì	
34	10,072	0.736	31,487	0.320	11,788	0.507	21,706	0.543	13,504	0.736	31,487	0.429	Sì	
35	7,494	0.759	31,083	0.241	8,897	0.619	25,350	0.351	10,299	0.782	32,023	0.322	Sì	
36	8,479	0.631	50,240	0.169	10,882	0.512	40,777	0.267	13,285	0.708	56,336	0.236	Sì	
37	7,320	0.754	51,513	0.142	9,384	0.544	37,157	0.253	11,449	0.786	53,720	0.213	Sì	
38	5,866	0.826	48,903	0.120	7,654	0.549	32,501	0.236	9,443	0.832	49,293	0.192	Sì	
39	6,997	0.843	36,075	0.194	8,462	0.633	27,100	0.312	9,927	0.843	36,075	0.275	Sì	

Parete : 3

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
46	480	38	12.632	0.069	0.030	0.055	Sì
47	480	38	12.632	0.056	0.025	0.044	Sì
48	360	38	9.474	0.073	0.132	0.048	Sì
49	360	38	9.474	0.046	0.093	0.036	Sì
50	360	38	9.474	0.079	0.157	0.051	Sì
51	360	38	9.474	0.070	0.144	0.047	Sì
52	360	38	9.474	0.041	0.083	0.033	Sì

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 98 di 113**

Superiore					Centrale				Inferiore				
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Verificato
46	33,317	0.581	81,687	0.408	38,955	0.687	96,605	0.403	44,593	0.620	87,198	0.511	Si
47	39,925	0.615	116,432	0.343	47,509	0.703	132,916	0.357	55,093	0.649	122,699	0.449	Si
48	4,403	0.652	26,660	0.165	5,803	0.526	21,520	0.270	7,203	0.726	29,694	0.243	Si
49	10,325	0.734	44,486	0.232	12,154	0.601	36,427	0.334	13,984	0.763	46,209	0.303	Si
50	5,022	0.632	36,835	0.136	6,782	0.479	27,916	0.243	8,541	0.719	41,894	0.204	Si
51	5,582	0.661	38,416	0.145	7,336	0.504	29,270	0.251	9,091	0.731	42,499	0.214	Si
52	7,819	0.747	30,437	0.257	9,213	0.621	25,288	0.364	10,608	0.772	31,465	0.337	Si

Parete : 4

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
59	480	38	12.632	0.013	0.102	0.013	Si
60	480	38	12.632	0.013	0.059	0.013	Si
61	480	38	12.632	0.013	0.088	0.013	Si
62	360	38	9.474	0.009	0.106	0.009	Si
63	360	38	9.474	0.009	0.094	0.009	Si
64	360	38	9.474	0.009	0.109	0.009	Si

Superiore					Centrale				Inferiore				
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Verificato
59	4,157	0.736	13,055	0.318	4,868	0.506	8,987	0.542	5,579	0.736	13,055	0.427	Si
60	16,074	0.736	25,062	0.641	16,810	0.608	20,697	0.812	17,546	0.736	25,062	0.700	Si
61	12,907	0.736	32,919	0.392	14,317	0.533	23,828	0.601	15,726	0.736	32,919	0.478	Si
62	1,978	0.843	14,958	0.132	2,586	0.578	10,250	0.252	3,193	0.843	14,958	0.213	Si
63	4,871	0.843	28,742	0.169	5,607	0.600	20,449	0.274	6,344	0.843	28,742	0.221	Si
64	5,183	0.843	37,688	0.138	6,312	0.571	25,548	0.247	7,441	0.843	37,688	0.197	Si

Parete : 5

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
66	480	38	12.632	0.059	0.135	0.043	Si
67	360	38	9.474	0.045	0.102	0.034	Si
68	360	38	9.474	0.034	0.083	0.028	Si

Superiore					Centrale				Inferiore				
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Verificato
66	12,867	0.609	42,108	0.306	16,323	0.442	30,555	0.534	19,779	0.653	45,173	0.438	Si
67	3,434	0.737	17,318	0.198	4,185	0.585	13,752	0.304	4,936	0.769	18,078	0.273	Si
68	3,638	0.768	15,017	0.242	4,262	0.622	12,163	0.350	4,887	0.787	15,391	0.317	Si

Parete : 6

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
77	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Si
78	480	25	19.200	0.019	0.019	0.019	Si

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 99 di 113**

79	480	25	19.200	0.019	0.019	0.019	Sì
80	480	25	19.200	0.042	0.019	0.035	Sì
81	480	25	19.200	0.112	0.051	0.094	Sì
82	480	25	19.200	0.059	0.027	0.051	Sì
83	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Sì
84	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Sì
85	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Sì
86	360	25	14.400	0.090	0.038	0.067	Sì

Superiore					Centrale				Inferiore				Verificato
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	
77	17,163	0.673	112,831	0.152	22,253	0.673	112,831	0.197	27,344	0.673	112,831	0.242	Sì
78	8,715	0.515	22,529	0.387	10,680	0.515	22,529	0.474	12,646	0.515	22,529	0.561	Sì
79	23,925	0.515	32,807	0.729	26,143	0.515	32,807	0.797	28,360	0.515	32,807	0.864	Sì
80	1,334	0.467	2,858	0.467	1,644	0.515	3,154	0.521	1,954	0.482	2,951	0.662	Sì
81	5,704	0.333	7,271	0.785	6,377	0.447	9,774	0.652	7,050	0.361	7,896	0.893	Sì
82	38,809	0.430	74,866	0.518	44,174	0.498	86,725	0.509	49,538	0.448	78,078	0.634	Sì
83	3,387	0.673	25,894	0.131	4,892	0.673	25,894	0.189	6,397	0.673	25,894	0.247	Sì
84	4,573	0.673	13,627	0.336	5,162	0.673	13,627	0.379	5,752	0.673	13,627	0.422	Sì
85	11,868	0.673	51,737	0.229	14,202	0.673	51,737	0.275	16,537	0.673	51,737	0.320	Sì
86	789	0.483	2,124	0.372	964	0.612	2,693	0.358	1,139	0.538	2,368	0.481	Sì

Parete : 7

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
90	480	38	12.632	0.090	0.034	0.056	Sì
91	360	38	9.474	0.126	0.040	0.061	Sì
92	480	30	16.000	0.027	0.016	0.025	Sì
93	480	30	16.000	0.036	0.017	0.034	Sì
94	360	25	14.400	0.015	0.014	0.015	Sì
95	360	25	14.400	0.051	0.022	0.038	Sì

Superiore					Centrale				Inferiore				Verificato
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	
90	4,053	0.529	16,927	0.239	5,652	0.677	21,667	0.261	7,251	0.617	19,749	0.367	Sì
91	1,881	0.539	17,245	0.109	3,080	0.750	24,009	0.128	4,279	0.689	22,046	0.194	Sì
92	56,677	0.593	158,312	0.358	63,610	0.619	165,351	0.385	70,543	0.598	159,696	0.442	Sì
93	9,607	0.570	16,414	0.585	10,354	0.616	17,730	0.584	11,102	0.577	16,604	0.669	Sì
94	16,098	0.670	86,208	0.187	21,132	0.673	86,565	0.244	26,166	0.672	86,345	0.303	Sì
95	2,136	0.580	8,035	0.266	2,679	0.655	9,073	0.295	3,222	0.611	8,472	0.380	Sì

Parete : 8

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
99	480	30	16.000	0.139	0.060	0.107	Sì
100	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Sì
101	480	30	16.000	0.027	0.016	0.024	Sì
102	480	30	16.000	0.026	0.016	0.024	Sì
103	360	25	14.400	0.017	0.014	0.016	Sì

**PROGETTO DEFINITIVO**  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 100 di 113**

104	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Sì
-----	-----	----	--------	-------	-------	-------	----

Superiore					Centrale				Inferiore				Verificato
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	
99	40,413	0.352	71,446	0.566	47,532	0.511	103,710	0.458	54,650	0.412	83,497	0.655	Sì
100	8,449	0.673	98,608	0.086	12,898	0.673	98,608	0.131	17,347	0.673	98,608	0.176	Sì
101	66,242	0.594	195,761	0.338	74,802	0.619	204,180	0.366	83,363	0.599	197,490	0.422	Sì
102	10,042	0.596	19,466	0.516	10,889	0.619	20,224	0.538	11,737	0.599	19,575	0.600	Sì
103	19,959	0.667	158,776	0.126	26,175	0.673	160,340	0.163	32,390	0.669	159,376	0.203	Sì
104	2,423	0.673	15,882	0.153	3,038	0.673	15,882	0.191	3,654	0.673	15,882	0.230	Sì

Parete : 10

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
105	480	25	19.200	0.019	0.019	0.019	Sì
106	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Sì

Superiore					Centrale				Inferiore				Verificato
Maschio	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	
105	13,035	0.515	55,515	0.235	19,585	0.515	55,515	0.353	26,134	0.515	55,515	0.471	Sì
106	6,654	0.673	72,585	0.092	11,161	0.673	72,585	0.154	16,073	0.673	72,585	0.221	Sì

Parete : 11

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
107	480	25	19.200	0.019	0.019	0.019	Sì
108	360	25	14.400	0.014	0.014	0.014	Sì

Superiore					Centrale				Inferiore				Verificato
Maschio	Nd	$\square$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\square$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\square$	Nr	Nd/Nr	
107	23,266	0.515	86,296	0.270	30,053	0.515	86,296	0.348	36,840	0.515	86,296	0.427	Sì
108	14,603	0.673	112,831	0.129	19,694	0.673	112,831	0.175	24,784	0.673	112,831	0.220	Sì

Parete : 12

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
113	480	38	12.632	0.065	0.098	0.055	Sì
114	480	38	12.632	0.063	0.110	0.051	Sì
115	360	38	9.474	0.078	0.144	0.049	Sì
116	360	38	9.474	0.072	0.143	0.049	Sì
117	360	38	9.474	0.084	0.115	0.060	Sì
120	480	38	12.632	0.048	0.109	0.038	Sì
121	360	38	9.474	0.065	0.116	0.044	Sì

Superiore					Centrale				Inferiore				Verificato
Maschio	Nd	$\square$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\square$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\square$	Nr	Nd/Nr	
113	560	0.591	967	0.579	626	0.513	839	0.745	691	0.619	1,012	0.683	Sì

**PROGETTO DEFINITIVO**  
*di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta*

**Relazione di Calcolo  
Strutturale**

**Pagina 101 di 113**

114	36,534	0.599	77,778	0.470	41,743	0.491	63,827	0.654	46,951	0.629	81,730	0.574	Sì
115	141	0.636	957	0.148	193	0.503	758	0.255	245	0.723	1,089	0.225	Sì
116	7,655	0.653	50,621	0.151	9,995	0.506	39,224	0.255	12,334	0.725	56,191	0.219	Sì
117	3,481	0.619	14,465	0.241	4,281	0.559	13,061	0.328	5,080	0.689	16,098	0.316	Sì
120	20,902	0.639	53,623	0.390	25,100	0.493	41,420	0.606	29,298	0.666	55,965	0.524	Sì
121	10,631	0.676	56,772	0.187	13,780	0.558	46,887	0.294	16,929	0.738	61,989	0.273	Sì

(\*) Elementi di copertura

## 8.14 VERIFICA COPERTURA

LOCALITA'	Provincia (per neve) (*)	SP	Distanza dalla costa (km) (*)	10	valori calcolati azioni vento e neve: Neve 88 daN/m <sup>2</sup> Vento sopravvento -54 daN/m <sup>2</sup> Vento sottovento -60 daN/m <sup>2</sup>	
	Provincia (per vento) (*)	SP	Rugosità del terreno (*)	C		
	Altitudine (m s.l.m.) (*)	100	Altezza edificio (m) (*)	8.50		
	Pendenza copertura (*)	40.0% = 21.8 °	input manuale neve solo per estero			
AZIONI (NTC 2008)	<b>CARICHI SU COPERTURE</b>				<b>CARICHI SU SOLAI INTERNI</b>	
	tipologia (*)	TETTO A PADIGLIONE			tipo di utilizzo (*)	
	Peso proprio tralicci (*)	15	daN/m <sup>2</sup>	Peso proprio tralicci (*)		daN/m <sup>2</sup>
	Peso manto di copertura (*)	40	daN/m <sup>2</sup>	Peso pavimentazione (*)		daN/m <sup>2</sup>
	Peso pannelli colbentati	10	daN/m <sup>2</sup>	Peso tavolato e sottofondo		daN/m <sup>2</sup>
	Peso controsoffitto	0	daN/m <sup>2</sup>	Incidenza tramezzi		daN/m <sup>2</sup>
	tavolato	10	daN/m <sup>2</sup>	(altro)		daN/m <sup>2</sup>
	Totale carichi permanenti	75	daN/m <sup>2</sup>	Totale carichi permanenti	0	daN/m <sup>2</sup>
	Carico variabile NTC 3.1.4	50	daN/m <sup>2</sup>	Carico variabile secondo NTC 3.1.4	0	daN/m <sup>2</sup>
	INPUT DATI PER ELEMENTI SISMO-RESISTENTI	<b>AZIONI SISMICHE per elementi secondari strutturali secondo NTC 2008 - C7.2.3</b>				
<u>Dati da inserire nel foglio di calcolo</u> <u>Spettri-NTC 3.2</u> (PARAMETRI DI INPUT DI NORMATIVA)		<u>Risultati da tabelle di normativa</u> <u>calcolo carichi variabili orizzontali</u> <a href="#">LINK a "Spettri di Risposta" min. LLPP</a>		<u>Calcolo della forza sismica</u>		
Latitudine (N)		44.14870 °	Tempo di ritorno	712.5	TR (anni)	edificio
Longitudine (E)		9.92600 °	a <sub>g</sub> (g)	0.163	altezza edificio (da input)	8.5 m
Vita nonminale V <sub>n</sub> (anni)		50	ag/g (α)	0.017	H media elem.	10.0 m
Classe d'uso		III	F <sub>0</sub>	2.390	lunghezza falda (colmo)	15.3 m
Periodo di riferim. V <sub>R</sub> (anni)		75	T <sup>*</sup> c (s)	0.300	larghezza falda	6.5 m (inclinata)
Categoria di sottosuolo		B	S <sub>s</sub> f(F <sub>0</sub> ,ag/g)	1.676	Carico verticale S.L.U. con sisma	75.0 daN/m <sup>2</sup>
Categoria topografica		T1	C <sub>c</sub>	1.562	Peso W <sub>a</sub> (metà falda)	3.729 daN
Regolarità in altezza		SI	St	1.000	T <sub>1</sub> (dell'edificio)	0.249 s
Stato limite considerato		SLV	S	1.676	T <sub>a</sub> (del traliccio)	0.249 s
			q <sub>a</sub>	4	S <sub>a</sub>	0.168
AZIONE SISMICA SU SINGOLA FALDA			$F_a = (S_a \times W_a) / q_a =$		157 daN	
PERCENTUALE DI AZIONE SISMICA DA AFFIDARE ALLE CROCIERE			50%		78 daN	
PERCENTUALE DI AZIONE SISMICA DA AFFIDARE AD ALTRI ELEMENTI			50%		78 daN	

PROGETTO DEFINITIVO  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

Relazione di Calcolo  
Strutturale

Pagina 103 di 113

INPUT DATI	committente : progetto : codice progetto :		il progettista delle strutture metalliche Ing. Fabio BALBI Ingegneri A1212	
	tipo di struttura: <b>TETTO A PADIGLIONE</b>		pendenza <b>40%</b> = 21.8 °	
	descrizione elemento:		ID:	
	valori precompilati da input in colore blu <b>AZIONI secondo NTC 2008</b>			
	Peso proprio tralicci <b>15</b> daN/m <sup>2</sup> Peso manto di copertura <b>40</b> daN/m <sup>2</sup> Peso pannelli coibentati <b>10</b> daN/m <sup>2</sup> Peso controsoffitto <b>0</b> daN/m <sup>2</sup> <b>tavolato</b> <b>10</b> daN/m <sup>2</sup>	Carico permanente (rif NTC 3.1.3) G= <b>75</b> daN/m <sup>2</sup> Carico variabile (rif. NTC 3.1.4) L= <b>50</b> daN/m <sup>2</sup> Neve (rif. NTC 3.3) N= <b>88</b> daN/m <sup>2</sup> Vento falda sopravvento (NTC 3.4) W= <b>-54</b> daN/m <sup>2</sup> Vento falda sottovento (NTC 3.4) W= <b>-60</b> daN/m <sup>2</sup>		
	luce campata [m] (*) <b>8.40</b>	scegliere lo schema statico (*) <b>doppio semincastro</b>	larghezza area di carico (*) <b>5.00</b> m	
SCELTA COLMO	scegliere il profilo (*) <b>CL 18/16 - 240</b>		scegliere se COLMO, DIAGONALE O CONVERSA (*) <b>COLMO RINFORZATO</b>	
	momento resistente del traliccio M <sub>x Rd</sub> = 1,221,200 daN.cm con compressione dei ferri superiori			
VERIFICHE NTC 2008	Carico di progetto allo S.L.E. 169 daN/m <sup>2</sup> Solo variabili allo S.L.E. 94 daN/m <sup>2</sup> Carico totale S.L.E. proposto dall'utente: <b>159 daN/m<sup>2</sup></b> Carico variabile S.L.E. proposto dall'utente: <b>94 daN/m<sup>2</sup></b> Carico lineare totale per verifica freccia 795 daN/m Carico lineare variabile per verifica freccia 470 daN/m		Carico di progetto allo S.L.U. (da input) 254 daN/m <sup>2</sup> Carico S.L.U. proposto dall'utente: <b>239 daN/m<sup>2</sup></b> carico utilizzato per la verifica q = 239 daN/m <sup>2</sup> carico lineare la verifica q = 1,195 daN/m	
	<u>verifica di resistenza allo stato limite ultimo</u>			
	mom. massimo: M <sub>Ed</sub> = 526,995 daN.cm M <sub>Rd</sub> = 1,221,200 daN.cm		sull'appoggio: T <sub>Ed</sub> = 5,019 daN T <sub>Rd</sub> = 6,956 daN	
	M <sub>Ed</sub> / M <sub>Rd</sub> = <b>0.432 &lt; 1 verificato</b>		T <sub>Ed</sub> / T <sub>Rd</sub> = <b>0.722 &lt; 1 verificato</b>	
	<u>verifica di deformazione allo stato limite di esercizio</u>			
	carichi totali freccia ammissibile = 1 / <b>250</b> L f <sub>calcolo</sub> = 32.9 mm freccia ammissibile (totale) = 33.6 mm f <sub>calc</sub> / f <sub>amm</sub> = <b>0.979 &lt; 1 verificato</b>		solo carichi variabili freccia ammissibile = 1 / <b>350</b> L f <sub>calcolo</sub> = 19.5 mm freccia ammiss. (variabili) = 24.0 mm f <sub>c</sub> / f <sub>a</sub> = <b>0.811 &lt; 1 verificato</b>	



SCELTA  
TRALICCIO

## CL 18/16 - 240

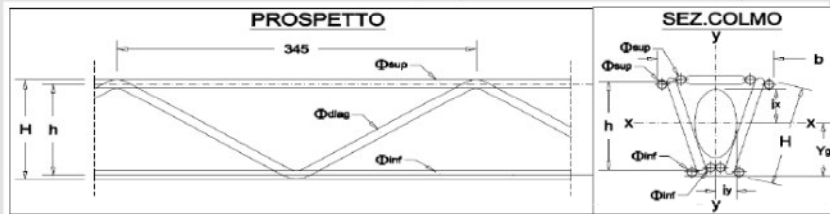
disposizione traliccio: scegliere se traliccio singolo, multiplo o rinzorato  
standard (come a disegno) **COLMO CON DOPPIO RINFORZO**

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

correnti superiori ed inferiori	$f_t =$	5,400 daN/cm <sup>2</sup>
tondo B450C ad adherenza migliorata	$f_y =$	4,500 daN/cm <sup>2</sup>
traliccio intermedio	$f_t =$	5,100 daN/cm <sup>2</sup>
tondo liscio S355	$f_y =$	3,550 daN/cm <sup>2</sup>
modulo elastico dell' acciaio	$E =$	2,100,000 daN/cm <sup>2</sup>
modulo di elasticità trasversale dell' acciaio	$G =$	807,692 daN/cm <sup>2</sup>

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E STATICHE DEL TRALICCIO

PROFILO	CL 18/16 - 240	COLMO CON DOPPIO RINFORZO	N° elem. 3
disposizione traliccio:	standard (come a disegno)		N° trallicci 6
H	altezza traliccio	24 cm	
	diametro dei ferri superiori	18 mm	$A_{sup} =$ 30.54 cm <sup>2</sup>
	diametro dei ferri inferiori	16 mm	$A_{inf} =$ 24.13 cm <sup>2</sup>
	diametro dei diagonal	12 mm	$A_{diag} =$ 13.57 cm <sup>2</sup>
	peso del traliccio zincato	18.20 daN/m	$b =$ 43.20 cm
$Y_g$	posizione del baricentro	13.26 cm	$h_y =$ 20.96 cm
$J_{xx}$	momento di inerzia x-x	6712.56 cm <sup>4</sup>	$i_x =$ 11.08 cm
$J_{yy}$	momento di inerzia y-y	6762.38 cm <sup>4</sup>	$i_y =$ 11.12 cm
$T_{Rd}$	taglio resistente del traliccio	10,435 daN	$w_x =$ 538.73 cm <sup>3</sup>
$M_{Rd}$	momento resistente del traliccio	1,831,801 daN.cm	$w_y =$ 313.07 cm <sup>3</sup>



### DIMOSTRAZIONE DEL CALCOLO DEL MOMENTO RESISTENTE DELLA SEZIONE

La sezione dei singoli trallicci è costituita da due coppie di ferri tondi affiancati di diametro variabile, collegati con un tondo sagomato a greca con funzione di resistenza al taglio. Il traliccio di colmo è costituito da due trallicci standard affiancati, dove i tondi superiori sono distanziati e collegati da una greca. L'altezza totale è variabile da 12 a 24 cm. Le coppie di tondi sono saldati alla greca, sia verticale che a quella superiore orizzontale ogni 34,5 cm e sono verificati su tale luce alla instabilità. A tal fine viene considerato, visto il grado di incastro una lunghezza libera di inflessione pari a 0,7 L. Di norma i trallicci, quando hanno diversi diametri superiori e inferiori, sono disposti con quelli maggiori superiormente; utilizzando il traliccio come convesa si deve selezionare la disposizione "capovolto".

denominazione traliccio	COLMO CON DOPPIO RINFORZO	CL 18/16 - 240	standard (come a disegno)
altezza utile del traliccio		20.96 cm	
Area totale dei tondi superiori	( N°12 tondi diam.18 mm )	30.54 cm <sup>2</sup>	
Area totale dei tondi inferiori	( N°12 tondi diam.16 mm )	24.13 cm <sup>2</sup>	
$N_{cr}$ = carico critico elastico		18312 daN	(compressione ferri superiori)
$N_{cr}$ = carico critico elastico		11432 daN	(compressione ferri inferiori)
snellezza adimensionale $\lambda$		0.79 per ferri sup	0.89 per ferri inf
coefficiente $\phi$		0.96 per ferri sup	1.06 per ferri inf
coefficiente $\lambda$		0.67 per ferri sup	0.61 per ferri inf
$N_{b,Rd}$ = compressione resistente in tutti i tondi superiori		87,415 daN	
$N_{b,Rd}$ = compressione resistente in tutti i tondi inferiori		62,686 daN	
$M_{Rd}$ = Momento resistente della sezione tralicciata		1,831,801 daN.cm	(compressione ferri superiori)
$M_{Rd}$ = Momento resistente della sezione tralicciata		1,313,594 daN.cm	(compressione ferri inferiori)

### DIMOSTRAZIONE DEL CALCOLO DEL TAGLIO RESISTENTE DELLA SEZIONE

La resistenza al taglio dei trallicci è affidata ai diagonal che risultano tesi o compressi secondo la posizione. La lunghezza libera di inflessione del diagonale in tondo è di 0,7 la lunghezza effettiva del diagonale, considerando il tipo di vincolo di incastro ai due estremi.

inclinazione del tondo diagonale sulla verticale	36 gradi sess.
lunghezza del tondo diagonale (tondo diam. 12 mm)	29.56 cm
lunghezza libera di inflessione diagonale (0,7 x L)	20.69 cm
$N_{cr}$ = carico critico elastico	4929 daN
snellezza adimensionale $\lambda$	0.90
coefficiente $\phi$	1.08
coefficiente $\chi$	0.60
$N_{b,Rd}$ = Resistenza all'instabilità in ogni singolo diagonale	2,288 daN
$T_{Rd}$ = Taglio resistente della sezione tralicciata	10,435 daN ( N°6 tondi diam.12 mm )

PROGETTO DEFINITIVO  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

Relazione di Calcolo  
Strutturale

Pagina 105 di 113

INPUT DATI

committente :  
progetto :  
codice progetto :  
tipo di struttura: **TETTO A PADIGLIONE** pendenza **40%** = 21.8 °  
descrizione elemento: **Elementi secondari** ID: **1**

valori precompilati da input in colore blu **AZIONI secondo NTC 2008**

Peso proprio tralicci	<b>15</b> daN/m <sup>2</sup>	Carico permanente (rif NTC 3.1.3) G=	<b>75</b> daN/m <sup>2</sup>
Peso manto di copertura	<b>40</b> daN/m <sup>2</sup>	Carico variabile (rif. NTC 3.1.4) L=	<b>50</b> daN/m <sup>2</sup>
Peso pannelli coibentati	<b>10</b> daN/m <sup>2</sup>	Neve (rif. NTC 3.3) N=	<b>88</b> daN/m <sup>2</sup>
Peso controsoffitto	<b>0</b> daN/m <sup>2</sup>	Vento sopravvento (NTC 3.4) W=	<b>-54</b> daN/m <sup>2</sup>
<b>tavolato</b>	<b>10</b> daN/m <sup>2</sup>	Vento sottovento (NTC 3.4) W=	<b>-60</b> daN/m <sup>2</sup>

luce campata [m] (\*) **6.00** scegliere lo schema statico (\*) **semplice appoggio** inserire interasse tralicci (\*) **0.70** m

SCELTA  
TRALICCI

scegliere il profilo (\*) **TR 14/12 - 200** scegliere se traliccio singolo o multiplo (\*) **TRALICCIO SINGOLO**  
disposizione traliccio: **standard (come a disegno)** **ACPOSTATI**  
momento resistente del traliccio  $M_{x,Rd} =$  130,848 daN.cm con compressione dei ferri superiori

VERIFICHE NTC 2008

Carico di progetto allo S.L.E.	169 daN/m <sup>2</sup>	carico invertito proposto dovuto al vento	22 daN/m <sup>2</sup>
Solo variabili allo S.L.E.	94 daN/m <sup>2</sup>	verificare (TRALICCIO CAPOVOLTO)	
Carico totale S.L.E. proposto dall'utente:	<b>159 daN/m<sup>2</sup></b>	Carico di progetto allo S.L.U. (da input)	254 daN/m <sup>2</sup>
Carico variabile S.L.E. proposto dall'utente:	<b>94 daN/m<sup>2</sup></b>	Carico S.L.U. proposto dall'utente:	<b>239 daN/m<sup>2</sup></b>
Carico lineare totale per verifica freccia	111 daN/m	carico utilizzato per la verifica q =	239 daN/m <sup>2</sup>
Carico lineare variabile per verifica freccia	66 daN/m	carico lineare la verifica q =	167 daN/m

**verifica di resistenza allo stato limite ultimo**

mom. massimo: M <sub>Ed</sub> =	75,285 daN.cm	sull'appoggio: T <sub>Ed</sub> =	502 daN
M <sub>Rd</sub> =	130,848 daN.cm	T <sub>Rd</sub> =	1,899 daN
M <sub>Ed</sub> / M <sub>Rd</sub> =	<b>0.575 &lt; 1 verificato</b>	T <sub>Ed</sub> / T <sub>Rd</sub> =	<b>0.264 &lt; 1 verificato</b>

**verifica di deformazione allo stato limite di esercizio**

carichi totali		solo carichi variabili	
freccia ammissibile = 1 /	<b>250</b> L	freccia ammissibile = 1 /	<b>350</b> L
f <sub>calcolo</sub> =	19.6 mm	f <sub>calcolo</sub> =	11.6 mm
freccia ammissibile (totale) =	24.0 mm	freccia ammiss. (variabili) =	17.1 mm
f <sub>calc</sub> / f <sub>amm</sub> =	<b>0.816 &lt; 1 verificato</b>	f <sub>c</sub> / f <sub>a</sub> =	<b>0.676 &lt; 1 verificato</b>

PROGETTO DEFINITIVO  
di Adeguamento sismico ed efficientamento  
energetico Scuola elementare "C. Arzelà" -  
Ponzano Madonnetta

Relazione di Calcolo  
Strutturale

Pagina 106 di 113

SCELTA  
TRALICCIO

## TR 14/12 - 200

disposizione traliccio:

standard (come a disegno)

scegliere se traliccio singolo, multiplo o rinzorato

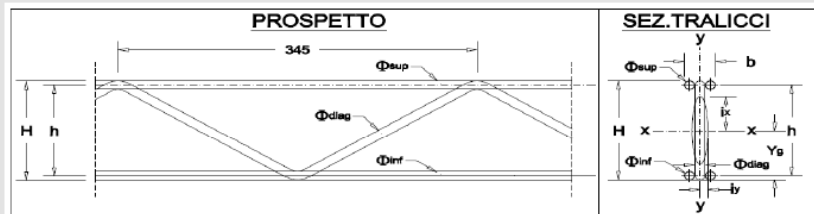
TRALICCIO SINGOLO

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

correnti superiori ed inferiori	$f_t =$	5,400 daN/cm <sup>2</sup>
tondo B450C ad aderenza migliorata	$f_y =$	4,500 daN/cm <sup>2</sup>
traliccio intermedio	$f_t =$	5,100 daN/cm <sup>2</sup>
tondo liscio S355	$f_y =$	3,550 daN/cm <sup>2</sup>
modulo elastico dell' acciaio	$E =$	2,100,000 daN/cm <sup>2</sup>
modulo di elasticità trasversale dell' acciaio	$G =$	807,692 daN/cm <sup>2</sup>

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E STATICHE DEL TRALICCIO

PROFILO	TR 14/12 - 200	TRALICCIO SINGOLO	N° elem. 1
disposizione traliccio:	standard (come a disegno)		N° tralici 1
H	altezza traliccio	20 cm	
	diametro dei ferri superiori	14 mm	$A_{sup} =$ 3.08 cm <sup>2</sup>
	diametro dei ferri inferiori	12 mm	$A_{inf} =$ 2.26 cm <sup>2</sup>
	diametro dei diagonal	12 mm	$A_{diag} =$ 2.26 cm <sup>2</sup>
	peso del traliccio zincato	5.82 daN/m	$b =$ 4.00 cm
$Y_g$	posizione del baricentro	11.38 cm	$h_x =$ 18.70 cm
$J_{xx}$	momento di inerzia x-x	456.56 cm <sup>4</sup>	$i_x =$ 9.25 cm
$J_{yy}$	momento di inerzia y-y	9.04 cm <sup>4</sup>	$i_y =$ 1.30 cm
$T_{Rd}$	taglio resistente del traliccio	1,899 daN	$w_x =$ 42.35 cm <sup>3</sup>
$M_{Rd}$	momento resistente del traliccio	130,848 daN.cm	$w_y =$ 4.52 cm <sup>3</sup>



### DIMOSTRAZIONE DEL CALCOLO DEL MOMENTO RESISTENTE DELLA SEZIONE

La sezione dei singoli tralici è costituita da due coppie di ferri tondi affiancati di diametro variabile, collegati con un tondo sagomato a greca con funzione di resistenza al taglio. L'altezza totale è variabile da 12 a 24 cm. I tralici possono essere raddoppiati per esigenze di resistenza localizzata, affiancati o distanziati con profili sagomati a greca o calastrelli. Le coppie di tondi sono saldati alla greca verticale ogni 34,5 cm e sono verificati su tale luce alla instabilità nel piano di inflessione. A tal fine viene considerato, visto il grado di incastro una lunghezza libera di inflessione pari a 0,7 L. Di norma i tralici, quando hanno diversi diametri superiori e inferiori, sono disposti con quelli maggiori superiormente; utilizzando il traliccio con i tondi maggiori inferiormente, si deve selezionare la disposizione "capovolto".

denominazione traliccio	TRALICCIO SINGOLO	TR 14/12 - 200	standard (come a disegno)
altezza utile del traliccio		18.70 cm	
Area totale dei tondi superiori	( N°2 tondi diam.14 mm )	3.08 cm <sup>2</sup>	
Area totale dei tondi inferiori	( N°2 tondi diam.12 mm )	2.26 cm <sup>2</sup>	
$N_{ex}$ = carico critico elastico		6701 daN	(compressione ferri superiori)
$N_{ex}$ = carico critico elastico		3617 daN	(compressione ferri inferiori)
snellezza adimensionale $\lambda$		1.02 per ferri sup	1.19 per ferri inf
coefficiente $\phi$		1.22 per ferri sup	1.45 per ferri inf
coefficiente $\lambda$		0.53 per ferri sup	0.44 per ferri inf
$N_{b,Rd}$ = compressione resistente in tutti i tondi superiori		6,997 daN	
$N_{b,Rd}$ = compressione resistente in tutti i tondi inferiori		4,270 daN	
$M_{Rd}$ = Momento resistente della sezione tralicciata		130,848 daN.cm	(compressione ferri superiori)
$M_{Rd}$ = Momento resistente della sezione tralicciata		79,840 daN.cm	(compressione ferri inferiori)

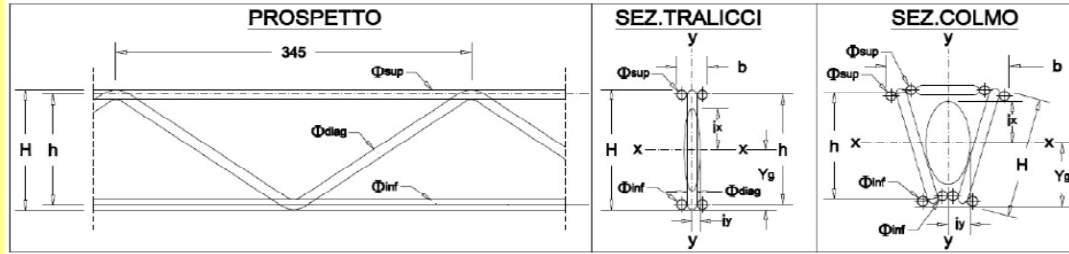
### DIMOSTRAZIONE DEL CALCOLO DEL TAGLIO RESISTENTE DELLA SEZIONE

La resistenza al taglio dei tralici è affidata ai diagonal che risultano tesi o compressi secondo la posizione. La lunghezza libera di inflessione del diagonale in tondo è di 0,7 la lunghezza effettiva del diagonale, considerando il tipo di vincolo di incastro ai due estremi.

inclinazione del tondo diagonale sulla verticale	41 gradi sess.
lunghezza del tondo diagonale	26.41 cm
lunghezza libera di inflessione diagonale (0,7 x L)	18.49 cm
$N_{ex}$ = carico critico elastico	6172 daN
snellezza adimensionale $\lambda$	0.81
coefficiente $\phi$	0.97
coefficiente $\chi$	0.66
$N_{b,Rd}$ = Resistenza all'instabilità del diagonale nel singolo traliccio	2,516 daN
$T_{Rd}$ = Taglio resistente della sezione tralicciata	1,899 daN
	( N°1 diam. 12 mm )



## CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E STATICHE DEI TRALICCI



nota (\*) - Momenti resistenti allo S.L.U. secondo l'asse X principale, validi per correnti trasversali di collegamento ad interasse non superiore a 80 cm; per interassi maggiori occorre una verifica di stabilità trasversale del corrente compresso secondo l'asse Y

## TABELLA TRALICCI

DESIGNAZIONE PROFILO		Dimensioni					Sezione Resistente [cm <sup>2</sup> ]	Peso [daN/m]	M <sub>x,Rd</sub> (*) Momento resistente [daN*cm]	T <sub>x,Rd</sub> Taglio resistente [daN]	Valori statici relativi agli assi xx-yy					
		h [mm]	b [mm]	Y <sub>g</sub> [cm]	Φ <sub>sup</sub> [mm]	Φ <sub>inf</sub> [mm]					J <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	J <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	W <sub>xmin</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>y</sub> [cm <sup>3</sup> ]	i <sub>x</sub> [cm]	i <sub>y</sub> [cm]
H 120	TR 10/10-120	110	30	6.00	10	10	3.14	3.38	25,228	1,037	95.23	3.34	17.31	2.23	5.51	1.03
	TR 12/10-120	109	34	6.93	12	10	3.83	3.95	46,538	1,037	110.44	4.61	17.18	2.71	5.37	1.10
	TR 14/12-120	107	38	6.77	14	12	5.34	5.19	74,870	1,037	149.87	7.75	24.29	4.08	5.30	1.20
H 160	TR 10/10-160	150	30	8.00	10	10	3.14	3.47	34,402	1,129	176.91	3.34	23.59	2.23	7.50	1.03
	TR 12/10-160	149	34	9.29	12	10	3.83	4.04	63,616	1,129	206.11	4.61	23.45	2.71	7.33	1.10
	TR 14/12-160	147	38	9.07	14	12	5.34	5.29	102,859	1,129	282.35	7.75	33.34	4.08	7.27	1.20
H 200	TR 12/10-200	189	36	11.65	12	10	3.83	4.58	80,694	1,899	331.45	5.46	29.73	3.03	9.30	1.19
	TR 14/12-200	187	40	11.38	14	12	5.34	5.82	130,848	1,899	456.56	9.04	42.35	4.52	9.25	1.30
	TR 16/14-200	185	44	11.18	16	14	7.10	7.27	193,280	1,899	597.81	14.11	57.04	6.41	9.18	1.41
H 240	TR 14/12-240	227	40	13.69	14	12	5.34	5.99	158,837	1,851	672.49	9.04	51.37	4.52	11.22	1.30
	TR 16/14-240	225	44	13.44	16	14	7.10	7.44	235,071	1,851	883.78	14.11	69.37	6.41	11.16	1.41
	TR 18/16-240	223	48	13.26	18	16	9.11	9.10	324,891	1,851	1,118.76	21.01	89.79	8.75	11.08	1.52

## TABELLA COLMI

H 120	CL 10/10-120	103	120	6.00	10	10	10	6.28	6.76	47,414	1,949	190.46	63.23	34.63	10.54	5.51	3.17
	CL 12/10-120	102	120	6.93	12	10	10	7.67	7.90	87,463	1,949	220.88	78.21	34.35	13.03	5.37	3.19
	CL 14/12-120	101	120	6.77	14	12	10	10.68	10.38	140,711	1,949	299.74	111.63	48.58	18.61	5.30	3.23
H 160	CL 10/10-160	141	160	8.00	10	10	10	6.28	6.94	64,656	2,121	353.82	107.21	47.18	13.40	7.50	4.13
	CL 12/10-160	140	160	9.29	12	10	10	7.67	8.08	119,560	2,121	412.22	131.87	46.90	16.48	7.33	4.15
	CL 14/12-160	138	160	9.07	14	12	10	10.68	10.58	193,313	2,121	564.70	186.40	66.67	23.30	7.27	4.18
H 200	CL 12/10-200	178	200	11.65	12	10	12	7.67	9.16	151,657	3,569	662.90	202.56	59.45	20.26	9.30	5.14
	CL 14/12-200	176	200	11.38	14	12	12	10.68	11.64	245,915	3,569	913.12	285.12	84.71	28.51	9.25	5.17
	CL 16/14-200	174	200	11.18	16	14	12	14.20	14.54	363,251	3,569	1,195.62	383.22	114.09	38.32	9.18	5.19
H 240	CL 14/12-240	213	240	13.69	14	12	12	10.68	11.98	298,518	3,478	1,344.98	402.61	102.75	33.55	11.22	6.14
	CL 16/14-240	211	240	13.44	16	14	12	14.20	14.88	441,792	3,478	1,767.56	539.42	138.74	44.95	11.16	6.16
	CL 18/16-240	210	240	13.26	18	16	12	18.22	18.20	610,600	3,478	2,237.52	697.98	179.58	58.17	11.08	6.19

### 8.15 CONCLUSIONI

Sulla base delle risultanze della trattazione analitica sopra riportata si è evidenziato che il fabbricato in esame nel suo complesso risulta rispondente a quanto richiesto dal D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 dal punto di vista statico e sismico.

Con riferimento a quest'ultimo ambito, alla luce di quanto ampiamente descritto al precedente paragrafo, si sintetizza quanto segue:

- ✓ non risultano verificati localmente alcune travi di copertura per cui, vista lo stato generale degli elementi portanti e dato che si ritiene di inserire un cordolo che possa incrementare la scatolarità dell'edificio si è decisa la completa demolizione ed il rifacimento con strutture in traliccio in acciaio aventi caratteristiche migliori dal punto di vista sismico avendo peso minore rispetto all'attuale copertura e adeguate alla normativa vigente dal punto di vista statico; tale strutture inoltre poggeranno su murature non isolate ed idonee a portare i carichi previsti;
- ✓ non risultano verificati sotto azione sismica diversi setti murari ad entrambi i livelli di piano. Dalle analisi effettuate la problematica principale riscontrata è inquadrabile nella snellezza della muratura. per cui tutti gli interventi sono volti ad ammorzare le murature e a rendere gli stessi muri adatti a portare i carichi previsti da progetto.

Per quanto attiene le analisi sismiche per le verifiche nel piano della muratura si evidenzia che:

- il valore minimo del parametro  $\zeta_u$  (indicatore del rischio di collasso) si riscontra nell'analisi n. 11 (direzione +x con distribuzione del carico sismico proporzionale alle forze statiche ed eccentricità positiva) ed è pari ad  $\zeta_{slv} = \text{PGA}_{CLV} / \text{PGA}_{DLV} = 1.95/1.92 = 1.014 > 1.00$  a cui corrisponde un periodo di ritorno dell'azione stessa di  $T_{RCLV} = 741$  anni;
- il valore minimo del parametro  $\zeta_{sls}$  (indicatore del rischio di inagibilità) si riscontra nell'analisi n. 22 (direzione -y con distribuzione del carico uniforme ed eccentricità negativa) ed è pari ad  $\alpha_e = \text{PGA}_{CLD} / \text{PGA}_{DLD} = 1.60/0.80 = 2.07 > 1.00$  a cui corrisponde un periodo di ritorno dell'azione stessa di  $T_{RCLD} = 479$  anni;
- il valore massimo del parametro  $q^*$  (rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente) si riscontra sempre nell'analisi n.20 (direzione +y con distribuzione del carico sismico proporzionale alle forze statiche ed eccentricità negativa) ed è pari a  $1.78 < 3.00$ ;

Per le verifiche fuori del proprio piano della muratura si evidenzia che le stesse risultano rispondenti ai dettami di normativa.

Nella verifica a pressioflessione fuori piano si riscontra il valore minimo del rapporto tra Momento sollecitante e resistente il valore di 1,89 nella parete 10 maschio E106 secondo piano.

## 9 SINTESI ED ATTENDIBILITÀ DEI RISULTATI

- *Origini e caratteristiche dei codici di calcolo:* la modellazione della struttura e la rielaborazione dei risultati del calcolo sono stati effettuati con il programma "3Muri ver. 11.5.0.0 Professionale" prodotto dalla S.T.A. DATA S.r.L. di Torino di cui il sottoscritto progettista detiene regolare licenza d'uso.
- *Affidabilità dei codici di calcolo:* l'affidabilità dei programmi impiegati è comprovata dal fatto che essi sono in commercio da molti anni e sono stati fino ad oggi utilizzati per la progettazione di strutture di ogni grado di complessità da migliaia di tecnici; il sottoscritto ha inoltre provveduto ad esaminare la documentazione sulla validazione dei codici di calcolo resa disponibile dai produttori dei softwares ed a modellare ed analizzare con tali programmi i file di esempio ed altre semplici strutture, onde poter facilmente verificare la congruenza numerica dei risultati ottenuti fra i risultati del calcolo automatico e quelli ottenibili in maniera manuale, avvalendosi dei risultati presentati nella letteratura tecnica. Si evidenzia infine come i suddetti software siano adottati anche da diverse PP.AA. tra le quali il Servizio Zone Sismiche della Provincia della Spezia.
- *Validazione dei codici di calcolo:* non è stata richiesta dal Committente la verifica delle strutture a cura di altro tecnico con altri programmi di calcolo.

Per quanto attiene le sollecitazioni dei vari elementi strutturali (travi, pilastri e travi di fondazione) si rimanda ai tabulati nei quali è facilmente desumibile per ciascuno di essi il valore di calcolo e quello di dimensionamento e verifica.

IL PROGETTISTA

## Relazione Geotecnica

### 1 RELAZIONE GEOTECNICA

Per quanto attiene alle verifiche geotecniche delle fondazioni esistenti secondo quanto previsto al punto 8.3 delle NTC 2018 e al par. C8A.5.11 della ‘Circolare Esplicativa’ al previgente D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008, sono state omesse in quanto risultano contemporaneamente soddisfatte le seguenti condizioni:

- ✓ assenza di importanti dissesti di qualsiasi natura attribuibili a cedimenti delle fondazioni ed è stato accertato che dissesti della stessa natura si sono prodotti nel passato ma sono stati oggetto di intervento di adeguamento;
- ✓ assenza di interventi tali da comportare sostanziali alterazioni dello schema strutturale del fabbricato o modificazioni delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni;
- ✓ esclusione di potenziali fenomeni di ribaltamento della costruzione per effetto delle azioni sismiche.
- ✓ esclusione di possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli o di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni;
- ✓ esclusione di possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

IL PROGETTISTA

## Elaborati grafici e particolari costruttivi allegati

### 1 ELABORATI GRAFICI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI

#### Elaborati grafici Architettonici e Strutturali:

- **Tavola A-01** - PROGETTO ARCHITETTONICO – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.
- **Tavola A-02** - PROGETTO ARCHITETTONICO - PLANIMETRIA GENERALE.
- **Tavola A-03** - PROGETTO ARCHITETTONICO - STATO DI FATTO, Piante-Prospetti-Sezioni.
- **Tavola A-04** - PROGETTO ARCHITETTONICO - STATO DI PROGETTO, Piante-Prospetti-Sezioni.
- **Tavola A-05** - PROGETTO ARCHITETTONICO - STATO DI RAFFRONTO, Piante-Prospetti-Sezioni.
- **Tavola S-01** - PROGETTO STRUTTURALE - Piante -Prospetti. Tipologie degli Interventi Strutturali.
- **Tavola S-02** - PROGETTO STRUTTURALE - Interventi Strutturali. Particolari costruttivi
- **Tavola S-03** - PROGETTO STRUTTURALE - Scannafosso. Pianta fondazioni, Pianta soletta, Sezione A-A, Sezione B-B, Carpenteria e Orditura.
- **Tavola S-04** - PROGETTO STRUTTURALE - Copertura in tetto leggero, Particolari costruttivi, Carpenteria e Orditura.



## Relazione sulla modellazione sismica

### 1 RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Il sito di costruzione ricade in zona sismica 3a, più in particolare le coordinate del sito sono le seguenti:

#### Sistema ED50:

Latitudine: 44.149617 N

Longitudine: 9.927000 E

#### Sistema WGS84

Latitudine: 44.148657 N

Longitudine: 9.925981 E

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, l'edificio risulta classificato come costruzione di tipo 2 ("Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale" –  $V_N = 50$  anni) e Classe d'uso III ("Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali." –  $c_u = 1.50$ ).

Si assume in definitiva, come periodo di riferimento per l'azione sismica, l'intervallo temporale:

$$V_R = V_N \times C_u = 50 \times 1.50 = \mathbf{75 \text{ anni}}$$

Sulla base del periodo di riferimento  $V_R$  assunto, e della localizzazione geografica del sito, risultano definiti i parametri distintivi dell'azione sismica riportati nella seguente per i diversi Stati Limite:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.055	2.490	0.246
SLD	75	0.069	2.489	0.262
SLV	712	0.164	2.389	0.295
SLC	1462	0.207	2.382	0.306

Tabella 1.1 – Parametri sismici

(valori interpolati secondo il metodo della media ponderata richiamato al par. 3.2 del D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008)

Per quanto riguarda la caratterizzazione del suolo si è fatto riferimento alla 'Relazione geologica e sismica' redatta dal **Dott. Geol. Andrea ARGENTI**, iscritto all'Ordine dei Geologi della Liguria alla luce della quale indagine il suolo è stato classificato come di **categoria B** ["Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$

kPa nei terreni a grana fina).”] e non suscettibile di liquefazione. Il valore del coefficiente di sottosuolo  $S_S$  è stato quindi valutato con riferimento ai diversi Stati Limite attraverso la relazione  $1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$ , essendo  $F_0$  e  $a_g$  i parametri sismici di sito valutati per lo Stato Limite considerato.

Da un punto di vista topografico, sulla base del medesimo elaborato sopra richiamato, è stata assunta una **categoria topografica T1** (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ). Per il coefficiente topografico è stato pertanto adottato il valore  $S_T = 1.000$ .

Con questi dati di input, la pericolosità sismica di base del sito in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido e con superficie topografica orizzontale, calcolata mediante il foglio di calcolo SPETTRI – NTC ver. 1.0.3 reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e liberamente scaricabile dal sito internet dello stesso ([www.cslp.it](http://www.cslp.it)), risulta:

#### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

In tabella sono riportati anche i valori dei parametri  $F_0$  e  $T^*$  che, insieme ai corrispondenti valori di  $a_g$ , permettono di determinare le ordinate dello spettro di risposta elastico per assegnati tempi di ritorno. I grafici degli spettri di risposta elastici, realizzati con l'ausilio dello stesso foglio di calcolo, sono riportati nella seguente figura:

IL PROGETTISTA

