



Università degli Studi di Parma

Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura

**Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile**

Curriculum: Meccanica Strutturale (ICAR 09)

XXVII Ciclo

Ilaria Fontanesi

**Modellazione strutturale di edifici storici in muratura e misti: valutazioni comparate e criteri operativi.**

**Structural modeling of historical masonry and composite buildings: comparative assessments and operational criteria.**

Tutor: Prof. Roberto Cerioni

Co-tutor: Prof. Eva Coisson, Ing. Luca Melegari

Coordinatore del Dottorato: Prof. Gianfranco Forlani

Gennaio 2016





Università degli Studi di Parma

Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura

**Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile**

Curriculum: Meccanica Strutturale (ICAR 09)

XXVII Ciclo

Ilaria Fontanesi

**Modellazione strutturale di edifici storici in muratura e misti: valutazioni comparate e criteri operativi.**

**Structural modeling of historical masonry and composite buildings: comparative assessments and operational criteria.**

Tutor: Prof. Roberto Cerioni

Co-tutor: Prof. Eva Coïsson, Ing. Luca Melegari

Coordinatore del Dottorato: Prof. Gianfranco Forlani

Gennaio 2016



“Non importa quante volte cadi.  
Quello che conta è la velocità con cui ti rimetti in piedi.”

Joe Biden<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Biden J. Citato in M. Calabresi, *La fortuna non esiste. Storie di uomini e donne che hanno avuto il coraggio di rialzarsi*, Milano, Arnoldo Mondadori Editore, 2009, epigrafe



## SOMMARIO

Abstract .....	9
Sunto .....	11
Parte prima: stato dell'arte .....	13
1 Premessa: il rapporto sicurezza- conservazione nell'esistente .....	15
2 Aspetti normativi per edifici in muratura .....	17
2.1 Breve excursus normativo del secol breve.....	18
2.2 Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 .....	26
2.2.1 Aspetti operativi .....	28
2.3 Direttiva P.C.M. 9 febbraio 2011-.....	39
2.3.1 Aspetti operativi .....	39
2.4 Revisione delle NTC2008 .....	46
3 L'edificare in muratura .....	49
3.1 Confronto tra edifici di nuova costruzione ed edifici esistenti .....	50
3.1.1 Edifici "comuni" .....	51
3.1.2 Edifici aventi valore storico- artistico- testimoniale .....	52
3.2 Il materiale muratura .....	52
3.2.1 Tipologie, tessitura, disposizione dei corsi, ... ..	54
3.2.2 Particolari costruttivi.....	57
3.2.3 Attività diagnostica .....	57
3.2.4 La regola dell'arte .....	66
3.2.5 Aspetti strutturali della muratura.....	74
4 Il percorso della conoscenza con note per i beni culturali.....	75
5 Meccanismi di collasso.....	81
5.1 Disgregazione del paramento murario.....	82
5.2 Meccanismi locali .....	83
5.3 Meccanismi globali: metodi di analisi e criteri di verifica .....	95
5.3.1 L'analisi statica non lineare.....	97
Parte seconda: casi studio e scelte operative .....	109
6 Casi studio .....	111
6.1 Ipotesi indagate .....	117
6.2 Edificio prototipo .....	119
6.2.1 Descrizione della struttura .....	119
6.2.2 Analisi modale .....	134
6.2.3 Analisi pushover.....	139
6.3 Padiglione Morselli, Reggio Emilia.....	182

6.3.1	Descrizione della struttura esistente .....	184
6.3.2	Analisi modale .....	191
6.3.3	Analisi pushover.....	198
6.3.4	Analisi semplificata per valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale .....	243
6.3.5	Commento alle analisi .....	244
6.4	Ospedale Regina Margherita di Castelfranco Emilia- Corpo 04.....	247
6.4.1	Descrizione della struttura esistente .....	247
6.4.2	Analisi modale .....	257
6.4.3	Analisi pushover.....	265
6.4.4	Analisi semplificata per valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale .....	310
6.4.5	Commento alle analisi .....	311
6.5	Liceo Scientifico G. Marconi, sede Via Gioia, Parma .....	315
6.5.1	Descrizione della struttura esistente .....	315
6.5.2	Analisi modale .....	320
6.5.3	Analisi pushover.....	327
6.5.4	Analisi semplificata per valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale .....	371
6.5.5	Commento alle analisi .....	372
6.6	Valutazioni sulla modellazione proposta dai softwares.....	374
7	Conclusioni.....	385
8	Bibliografia ragionata .....	401
8.1	Manualistica .....	401
8.2	Riferimenti normativi .....	405
8.3	Articoli scientifici .....	407
8.4	Sitografia .....	413

## ABSTRACT

---

The aim of the present thesis is to underline the importance of a critical approach to the seismic vulnerability assessment of historical masonry and composite buildings.

The contributions of this thesis highlights the different results obtained modelling three real existing buildings and an hypothetical one using two different softwares based on the technique called "frame- type macro-element models".

The modelling of the different hypothesis has required four models made by Aedes PCM and a model in 3muri; more over the data obtained have been compared with data deriving from the type of analysis suggested for the territorial assessment in the "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del Patrimonio Culturale" (Guidelines for evaluation and reduction of Cultural Heritage's seismic risk).

It can be noticed that the values obtained are quite different especially in the case of non regular buildings; moreover the evidences of the real damages on the buildings show a deep hiatus between damages predicted through computation and real ones; this could be a warning to the acritical approach to the numeric values and a recall to the importance of the cognitive process.

The four case studies shown have different characteristics. The first one is a simple, one floor structure, symmetrical in both directions. The other three are real buildings: the Morselli Pavillon is a masonry one with a C-plan, regular in elevation only in y direction: it has been chosen because in the same model it is possible to analyse the different answers in the different directions; the Marconi high school presents a very irregular top floor and a commingling of masonry and concrete elements; Block 4 of Castelfranco Emilia Hospital is a masonry building, it has the same irregularity in the upper floor but has a regular plan.

The evidence acquired has shown a good accordance for the seismic safety index obtained with the two softwares for the simple and regular model (a 30% delta), while it became very consistent for irregular ones (60%), in particular when continuous masonry walls were replaced by isolated pillars. The comparisons made for the structures have been extended to the model proposed by the Guide Lines for LV1 territorial assessment, showing a difference of about 30% for Pavillon Morselli and 50% for Marconi High School; the simplified method is correctly more precautionary.

It is possible to say that the more a building is regular in relation to the masses and stiffnesses distributions, the better the softwares based on frame-type macro element model, providing results in accordance with each other and easier to control.

This evidence could be extended becoming a real operative criteria, recommending to subdivide the existing masonry buildings, often very complex because of the stratification and the different construction phases, in more simple parts. This should be done using the information acquired during the knowledge path on the building, which becomes a very useful and vital instrument.

The complexity of historical buildings could be approached in an easier way identifying regular subunits easier to investigate, considering the materials, the construction phases and the behaviour shown in time.

A clear comprehension of the behaviour of the structures allows to be more punctual and less invasive in the interventions, more respectful of the existing building, linking once again the work of the consolidation to the principles of restoration which include minimum and recognizable intervention, respect of the existing materials and use of new compatible materials.

The knowledge path thus gives the keys to unlock the complexity of the historical building, transforming a merely technical work in a real and concrete cultural operation<sup>2</sup>.

This PhD is realized in collaboration between University of Parma, DICATeA and Studio di Ingegneria Melegari di Parma.

---

<sup>2</sup> Boscarino S, Cangelosi A., Prescia R. (a cura di), *Sul restauro architettonico. Saggi e Note*, Franco Angeli Editore, Milano, 1999

## SUNTO

---

L'obiettivo della presente tesi è evidenziare l'importanza dell'approccio critico alla valutazione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura e misti

Il contributo della tesi sottolinea i diversi risultati ottenuti nella modellazione di tre edifici esistenti ed uno ipotetico usando due diversi programmi basati sul modello del telaio equivalente.

La modellazione delle diverse ipotesi di vincolamento ed estensione delle zone rigide ha richiesto la formulazione di quattro modelli di calcolo in Aedes PCM ed un modello in 3muri. I dati ottenuti sono stati confrontati, inoltre, con l'analisi semplificata speditiva per la valutazione della vulnerabilità a scala territoriale prevista nelle "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del Patrimonio Culturale".

Si può notare che i valori ottenuti sono piuttosto diversi e che la variabilità aumenta nel caso di edifici non regolari, inoltre le evidenze legate ai danni realmente rilevati sugli edifici mostrano un profondo iato tra la previsione di danno ottenuta tramite calcolatore e le lesioni rilevate; questo costituisce un campanello d'allarme nei confronti di un approccio acritico nei confronti del mero dato numerico ed un richiamo all'importanza del processo conoscitivo.

I casi di studio analizzati sono stati scelti in funzione delle caratteristiche seguenti: il primo è una struttura semplice e simmetrica nelle due direzioni che ha avuto la funzione di permettere di testare in modo controllato le ipotesi di base. Gli altri sono edifici reali: il Padiglione Morselli è un edificio in muratura a pianta a forma di C, regolare in pianta ed in elevazione solamente per quanto concerne la direzione y: questo ha permesso di raffrontare il diverso comportamento dei modelli di calcolo nelle sue direzioni; il liceo Marconi è un edificio misto in cui elementi in conglomerato cementizio armato affiancano le pareti portanti in muratura, che presenta un piano di copertura piuttosto irregolare; il Corpo 4 dell'Ospedale di Castelfranco Emilia è un edificio in muratura, a pianta regolare che presenta le medesime irregolarità nel piano sommitale del precedente.

I dati ottenuti hanno dimostrato un buon accordo per la quantificazione dell'indice di sicurezza per i modelli regolari e semplici con uno scarto di circa il 30% mentre il delta si incrementa per le strutture irregolari, in particolare quando le pareti portanti in muratura vengono sostituite da elementi puntuali nei piani di copertura arrivando a valori massimi del 60%.

I confronti sono stati estesi per le tre strutture anche alla modellazione proposta dalle Linee Guida per la valutazione dell'indice di sicurezza sismica a scala territoriale LV1 mostrando differenze nell'ordine del 30% per il Padiglione Morselli e del 50% per il Liceo Marconi; il metodo semplificato risulta correttamente cautelativo.

È, quindi, possibile affermare che tanto più gli edifici si mostrano regolari in riferimento a masse e rigidità, tanto più la modellazione a telaio equivalente restituisce valori in accordo tra i programmi e di più immediata comprensione.

Questa evidenza può essere estesa ad altri casi reali divenendo un vero e proprio criterio operativo che consiglia la suddivisione degli edifici esistenti in muratura, solitamente molto complessi poiché

frutto di successive stratificazioni, in parti più semplici, ricorrendo alle informazioni acquisite attraverso il percorso della conoscenza che diviene in questo modo uno strumento utile e vitale.

La complessità dell'edificato storico deve necessariamente essere approcciata in una maniera più semplice identificando sub unità regolari per percorso dei carichi, epoca e tecnologia costruttiva e comportamento strutturale dimostrato nel corso del tempo che siano più semplici da studiare.

Una chiara comprensione del comportamento delle strutture permette di agire mediante interventi puntuali e meno invasivi, rispettosi dell'esistente riconducendo, ancora una volta, l'intervento di consolidamento ai principi propri del restauro che includono i principi di minimo intervento, di riconoscibilità dello stesso, di rispetto dei materiali esistenti e l'uso di nuovi compatibili con i precedenti.

Il percorso della conoscenza diviene in questo modo la chiave per liberare la complessità degli edifici storici esistenti trasformando un mero tecnicismo in una concreta operazione culturale<sup>3</sup>.

Il presente percorso di dottorato è stato svolto in collaborazione tra l'Università di Parma, DICATeA e lo Studio di Ingegneria Melegari mediante un percorso di Apprendistato in Alta Formazione e Ricerca.

---

<sup>3</sup> Boscarino S, Cangelosi A., Prescia R. (a cura di), *Sul restauro architettonico. Saggi e Note*, Franco Angeli Editore, Milano, 1999

## **PARTE PRIMA: STATO DELL'ARTE**

---



# 1 PREMESSA: IL RAPPORTO SICUREZZA- CONSERVAZIONE NELL'ESISTENTE

---

"Il restauro antisismico dei centri storici deve invece essere coniugato  
sul doppio versante di sicurezza e conservazione.  
Coniugazione di un unico verbo, del semplice restaurare,  
che non è tale se non conserva e non conserva se non assicura"

Antonino Giuffrè<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Giuffrè A., (a cura di), *Sicurezza e Conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Laterza, 1993, p.3

## **PREMESSA: IL RAPPORTO SICUREZZA- CONSERVAZIONE NELL'ESISTENTE**

La storia italiana è costellata da eventi sismici di varia magnitudo che hanno colpito larga parte del territorio nazionale, Messina e Reggio Calabria nel 1908; Friuli, 1976; Irpinia, 1981; Umbria e Marche, 1998; S. Giuliano di Puglia, 2003; L'Aquila, 2008; Emilia, 2012 solo per citarne alcuni ed in particolare i più recenti.

L'impatto di simili eventi sia in termini di perdite di vite umane sia economici sia di perdita di beni culturali ha costituito un indubbio sprone a procedere nella conoscenza del campo "della riparazione e prevenzione dei danni derivanti dall'azione sismica", per la finalità di questi tesi con particolare riferimento alle strutture in muratura con valore storico artistico.

Di strada ne è stata fatta e se si volge lo sguardo al passato il gap tra l'idea che un edificio fosse più sicuro tanto più risultava simile ad un telaio in conglomerato cementizio armato e che gli interventi di restauro dovessero perseguire l'adeguamento appare ormai colmato, ma ogni posizione deve essere preservata e non data per scontata, l'obiettivo finale rimane quello di tramandare ai posteri edifici preservando vite umane senza alterare in maniera rilevante l'equilibrio raggiunto.

Il rischio sismico, ovvero la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione così come definito dalla Protezione Civile italiana<sup>5</sup>, è frutto di una semplice relazione ovvero  $R = P \times V \times E$  che mostra come il rischio sismico (R) dipenda dalla pericolosità sismica (P), definita come una funzione probabilistica di un evento sismico con data intensità e dato periodo di ritorno, dalla vulnerabilità sismica (V) ovvero dalla capacità di una costruzione di sopportare una certa sollecitazione sismica e dall'esposizione (E) che quantifica la possibilità di subire un danno in termini di vite umane, perdita di beni culturali o economico; le possibilità di decrementare il rischio per una data struttura sono, quindi, legate unicamente all'intervenire sull'aspetto della vulnerabilità che come tale diviene di primaria importanza.

Chiaramente operare sull'esistente pone dei limiti alle possibilità di intervento in particolare quanto si interviene sul patrimonio storico- culturale che notevoli variabilità e specificità, si pensi, ad esempio, alla difficoltà di coniugare il restauro nel doppio tema della sicurezza e della conservazione in strutture spesso complesse e frutto di stratificazioni, spesso vere e proprie sfide alla statica in cui sono ospitate funzioni considerate strategiche, da qui l'importanza del tema dell'intervento di consolidamento e del come determinare la valutazione di sicurezza di un dato bene.

---

<sup>5</sup> [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/rischio\\_sismico.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/rischio_sismico.wp)

## **2 ASPETTI NORMATIVI PER EDIFICI IN MURATURA**

---

“Riconoscere in una costruzione la conformità alle regole dell'arte  
può costituire un primo elemento di valutazione della sicurezza”

Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

## ASPETTI NORMATIVI PER EDIFICI IN MURATURA

### 2.1 BREVE EXCURSUS NORMATIVO DEL SECOL BREVE<sup>6</sup>

La normativa sismica in Italia ha subito numerosi cambiamenti negli ultimi anni, si può notare una corrispondenza tra gli eventi sismici occorsi e l'emanazione di nuove norme.

Si propone nel seguito un breve excursus delle normative che si sono via via succedute in Italia e i punti salienti da esse proposti.

#### **La normativa antisismica italiana dall'inizio del '900 agli anni '70**

L'individuazione delle zone sismiche e la redazione norme tecniche specifiche per le edificazioni in tali aree nasce in Italia come risposta alla scia sismica che colpisce Reggio Calabria e Messina il 28 dicembre 1908, il terremoto ed il successivo maremoto portano distruzioni di entità catastrofiche, periscono più di 100.000 persone; da questo momento e per lungo tempo, la zonizzazione sismica del territorio si basa sull'osservazione sperimentale cui segue l'inserimento nell'elenco delle aree sismiche delle zone in cui si è assistito a recenti fenomeni.

A partire dal 1927 le località considerate sismiche vengono suddivise in due categorie in funzione del grado di sismicità e della loro conformazione geologica.



Figura 2-1\_Cartolina di Palmi, "I morti nelle strade"<sup>7</sup>



Figura 2-2\_Reggio Calabria, rovine nei pressi di Largo Amalfitano

<sup>6</sup> <http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/24/normative/>

<sup>7</sup> Le immagini riportate sono tratte dal servizio apparso sul sito del Corriere della Sera (<http://www.corriere.it/index.shtml>) per commemorare l'anniversario del sisma che ha colpito Reggio Calabria e Messina

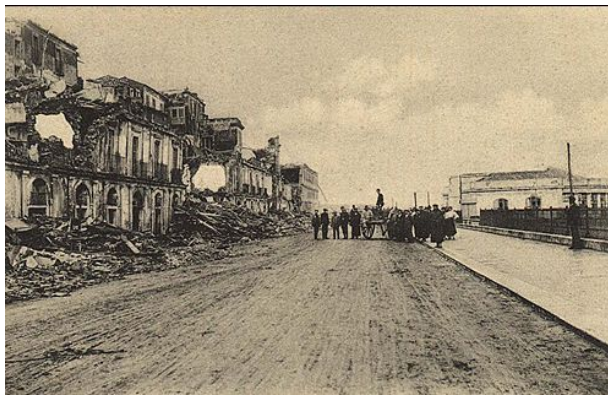


Figura 2-3\_ Reggio Calabria, Resti della Real Palazzina sul Lungomare



Figura 2-4\_ Reggio Calabria, rovine della Chiesa del Rosario

La memoria dei sisma non persiste mai a lungo, è sufficiente che per 40- 50 anni un terremoto non flagelli una data area e perisca la generazione che vi assistito che non se ne conserva ricordo; ciò comporta la perdita della capacità di costruire con tecniche antisismiche; tale lacuna permane anche nella normativa in cui le zone ritenute sismiche sono esclusivamente quelle via via colpite da questo tipo di eventi.

#### **Legge 2 febbraio 1974 n°64**

##### **“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”**

Tale legge segna un punto di svolta e costituisce il riferimento per le successive normative sismiche poiché demanda l'approvazione dei progetti riguardanti interventi strutturali su beni ricadenti in zona sismica ai competenti uffici del Genio Civile; conferisce al Ministero dei Lavori Pubblici la potestà di emanare e aggiornare la normativa tecnica.

Per quanto riguarda gli edifici aventi valore storico artistico l'introduzione della presente norma non apporta modifiche ribadendo la validità delle normative già in vigore; l'approccio agli edifici esistenti ed al loro consolidamento non è distinto in alcun modo da quello previsto per l'edilizia di nuova costruzione determinando un sostanziale disconoscimento dell'autonomia di questi progetti in funzione delle peculiarità insite nel tipo di costruzione su cui si va ad operare.

Per identificare le zone sismiche si procede, come già avvenuto a partire dal 1908, aggiungendo via via nuove aree agli elenchi esistenti, non esiste una mappatura estesa all'intero territorio nazionale. In questo periodo storico non si è ancora giunti alla piena consapevolezza della necessità di distinguere le nuove costruzioni dall'edificato esistente, si è ancora in una fase precedente a quel processo di acquisizione di una nuova consapevolezza che vedrà la luce a seguito del sisma friulano del 1976; al momento si ritiene che le antiche fabbriche siano a priori inadeguate, inadatte ad assolvere anche solo la funzione statica, gli interventi sono spesso onerosi non solo economicamente, invasivi e privi di giustificazione.

All'esistente si demanda esclusivamente il ruolo formale, nuove strutture vi si affiancano ad assolvere alla funzione strutturale generando strutture dal comportamento ibrido difficilmente identificabile e gestibile.

**Decreto Ministeriale 3 marzo 1975, (G.U. n. 93 del 08/04/1975**

**“Approvazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”**

Il decreto pone nuovi limiti per le altezze massime degli edifici in funzione del materiale utilizzato nella loro realizzazione ad esclusione delle strutture in c.a. o acciaio che possono raggiungere altezza illimitata, introduce la possibilità di eseguire analisi di tipo statico o dinamico, definisce nuovi coefficienti di proporzionalità e di distribuzione per le forze sismiche e nuovi coefficienti di riduzione dei sovraccarichi, in definitiva la norma opera in continuità alle leggi precedenti, riformando tuttavia solo i valori da attribuire ai parametri già determinati.

**Legge Regionale del Friuli Venezia Giulia 20 giugno 1977 n°30**

**Nuove procedure per il recupero statico e funzionale degli edifici colpiti dagli eventi tellurici – Ulteriori norme integrative della legge regionale 7 giugno 1976, n.17**

Si tratta della norma che introduce il metodo di calcolo POR<sup>8</sup> per le murature ovvero un primo metodo per la valutazione della duttilità delle strutture in muratura, l'analisi non lineare opera in controllo di forza; pur con evidenti limiti si tratta indubbiamente di un passo avanti notevole: è, infatti, da questo momento che si inizia a ritrovare interesse per le costruzioni in muratura, si indagano, si registrano i danni e si costruiscono abachi che, ampliati ed integrati in occasione dei sismi successivi, rivelano la ricorrenza di determinati meccanismi di danno che si ripropongono analoghi pur in luoghi ed in occasione di terremoti con caratteristiche diverse; è sorto in nuce il nucleo del concetto dei meccanismi locali di danno.

**Decreto ministeriale 7 marzo 1981**

**Dichiarazione in zone sismiche nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia; Decreto Ministeriale 3 Giugno 1981 n° 515 e Decreto Ministeriale 29 Febbraio 1984**

I decreti pur operando come le norme precedenti indagando solo le aree recentemente colpite dal sisma, presentano un aspetto innovativo legato al ricorso di indagini di tipo probabilistico per l'effettuazione della classificazione; le norme istituiscono, inoltre, anche se solo nelle aree indicate in precedenza, un'ulteriore zona sismica di terza categoria a sismicità minore rispetto alle precedenti. La classificazione sismica su base probabilistica, seppur realizzata limitatamente alle aree recentemente colpite, costituisce, in nuce, la base della successiva estensione all'intero territorio nazionale di tale classificazione che avviene con l'emanazione dell'OPCM 3274 del 2003 22 anni dopo.

---

<sup>8</sup> M. Tomazevic, *The Computer Program POR*; Report ZRMK, Ljubljana, Slovenian, 1978; (in Slovenian).

### **Decreto ministeriale 19 Giugno 1984**

#### **(G.U. n.208 del 30/07/1984) "Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche"**

Costituisce un aggiornamento del Decreto 3 Marzo 1975 e ha vita limitata venendo abrogato due anni dopo dal D.M. 24 gennaio 1986; prevede l'introduzione di coefficienti diversificati in funzione della rilevanza dell'edificio in relazione ai danni che un sisma è in grado di arrecarvi in termini di vite umane coinvolte: per opere strategiche il "coefficiente di importanza" (I) vale 1.4; per opere a particolare rischio d'uso 1.2.

### **Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 24/01/1986**

#### **Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche (G.U. 12/05/1986 n°108) e relativa Circolare Ministero LL.PP. 27690 del 19 Luglio 1986 al D.M. del 24/01/1986. "Istruzioni relative alla normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica"**

Prima dell'emanazione delle Norme Tecniche relative alle costruzioni antisismiche del 24 gennaio 1986, le norme non prevedono criteri di intervento diversificati in funzione del fatto che si realizzi una nuova struttura o si intervenga sull'esistente, il riferimento normativo è unico e prevedeva anche per gli interventi di consolidamento il rispetto di dettagli esecutivi quali muri ogni 7m, cordoli a tutti i piani che comportano interventi pesanti di "messa a norma" responsabili di significative alterazioni del comportamento delle strutture oggetto di intervento.

Nel 1986 vengono introdotte specifiche norme per gli edifici esistenti sancendo di fatto il riconoscimento di una "diversità" nell'approccio agli interventi volti al patrimonio esistente e quelli di nuova realizzazione, vedono la luce i concetti di adeguamento e miglioramento quest'ultimo finalizzato agli interventi locali.

L'Art. C.9.1.2 descrive l'intervento di miglioramento come "l'esecuzione di una o più opere riguardanti singoli elementi strutturali dell'edificio con lo scopo di conseguire un maggior grado di sicurezza senza, peraltro, modificare in maniera sostanziale il comportamento globale", si assiste, quindi, all'introduzione del concetto di progettare interventi sull'esistente quanto più possibile poco invasivi in modo da non alterarne il comportamento globale.

### **Circolare Ministero Beni Culturali ed Artistici 18 luglio 1986 n°1032**

#### **(Comitato Nazionale Prevenzione Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico, 18 Luglio 1986) "Interventi sul Patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche: raccomandazioni" (di commento al D.M.LL.PP. del 24 gennaio 1986)**

La circolare comporta l'introduzione del concetto che sugli edifici esistenti si può procedere non solo in ottica di riparazione del danno ma anche di prevenzione.

Per quanto riguarda i beni culturali il miglioramento sostituisce l'adeguamento, il cambiamento è rilevante poiché introduce l'idea che un bene tutelato possa avere un grado di sicurezza diverso da

quello delle nuove costruzioni e che possano coesistere le istanze legate alla sicurezza e quindi alla sua fruizione e quelle legate alla conservazione materiale del manufatto.

“Si individua quindi, in attesa della definizione di norme tecniche specifiche per il patrimonio culturale [...] una linea di comportamento impostata sul ricorso sistematico agli interventi di miglioramento [...] su una conduzione delle operazioni progettuali che abbia diretto riguardo al valore culturale della costruzione” vi è un'evoluzione nella sensibilità nel tipo di approccio: da pesanti e costosi interventi che alterano in modo sostanziale il comportamento dell'edificio per conseguire l'adeguamento al concetto di conservazione diffusa del patrimonio culturale con interventi mirati che hanno come obiettivo non il riparare il danno ma la prevenzione tramite il miglioramento del grado di sicurezza; vi è un recupero di tecniche e materiali tradizionali per le operazioni di consolidamento, si tende ad intervenire puntualmente, non si ritiene più la fabbrica inadeguata a priori ma si opera mitigando il degrado per farle riacquisire le sue capacità originarie senza stravolgerne gli schemi statici, solo in caso di evidenti errori nella concezione strutturale, gravi carenze o degradi particolarmente diffusi si procede ad interventi più complessi.

All'evoluzione in campo normativo si affianca un'evoluzione del pensiero riguardo alla teoria del restauro, Dezzi Bardeschi<sup>9</sup> nel 1981 afferma “[Il restauro] operi all' unico fine di assicurare la conservazione dell' autenticità dell' opera, che è costituita da tutti gli apporti matrici che le si sono stratificati addosso e che appunto rappresentano [...] quell' insostituibile e irripetibile *hic et nunc* che caratterizza e distingue in modo specifico quella e non altra fabbrica: perduto e compromesso il quale è perduto e compromesso tutto il testo, il valore di testimonianza e la stessa credibilità dell'oggetto” seguito da Rocchi<sup>10</sup> nel 1983 che aggiunge “Il restauro ha come fine la conservazione, intesa nel senso di conservare il più possibile inalterata la situazione di fatto rendendo minimi i cambiamenti soprattutto le demolizioni con l' impiego di mezzi non invasivi, e ove necessariamente invasivi, il più possibile reversibili, sia nella fase di accertamento sia in quella di intervento; senza alcun privilegio accordato a parti visibili piuttosto che invisibili o ritenute di pregio maggiore di altre” evidenziano la necessità di preservare non solo l'aspetto formale ma anche quello materico del costruito operando nell'ottica del minimo intervento.

Spesso si effettua un paragone tra l'opera di chi interviene sulle strutture esistenti ed il medico, così come per la cura del cancro si è passati da interventi che seguivano la logica del massimo intervento che il paziente può sopportare al minimo intervento per farlo sopravvivere anche per i pazienti in muratura si è passati dal considerarli a priori inadeguati e necessitanti di interventi radicali a minime opere puntuali per riportarli in salute, dalla chirurgia ad una sorta di fisioterapia.

Nella norma vengono anche indicati gli elaborati progettuali necessari per gli interventi sull'esistente:

- 1) Studio storico critico con storia sismica del sito;
- 2) Rilievo plano- altimetrico;

---

<sup>9</sup> M. Dezzi Bardeschi, *Presentazione in La Conservazione del costruito: i materiali e le tecniche*, Dezzi Bardeschi M., Sorlini C. (a cura di), Ed. Clup, Milano, 1981

<sup>10</sup> G. Rocchi, *Istituzioni di restauro dei beni architettonici e ambientali. Cause-Accertamenti-Diagnosi*, Milano 1985, p.297

- 3) Analisi dei carichi con individuazione di tutti gli elementi portanti ed individuazione dello schema strutturale;
- 4) Rilievo dei dissesti con individuazione di entità e cause;
- 5) Individuazione dei materiali strutturali con valutazione dello stato di conservazione e possibilmente indagini sperimentali;
- 6) Progetto qualitativo e quantitativo degli interventi;
- 7) Individuazione di tutti gli interventi che comportano sostituzione ed alterazione della materia e superficie originale del manufatto.

Tali elaborati costituiscono tuttora la base cui fare riferimento nella progettazione degli interventi.

Si propone, inoltre, la preferenza per il collaudo in corso d'opera anziché ex post al fine di individuare prontamente gli interventi irreversibili ritenuti errati.

**Decreto Ministeriale n. 141 del 9 Gennaio 1987**

**(G.U. n. 141 del 19/06/1987) sostituito dal Decreto Ministeriale n. 285 del 20 Novembre 1987 (G.U. n. 285 del 5/12/1987) "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento"**

Si tratta di disposizioni integrative del DM del 3 Marzo 1975 che vedono l'approvazione delle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento.

**Circolare Ministero dei LL.PP. n. 30787 del 4 Gennaio 1989.**

**"Istruzioni in merito alle Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".**

Si tratta di istruzioni relative alle norme del 1987.

**Decreto Ministeriale 16/01/1996-**

**Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (G.U. 05/02/1996 n°29)**

Nel 1996 viene completata la norma precedente<sup>11</sup> indicando il miglioramento come il tipo di intervento da eseguire sugli edifici monumentali, di fatto creando un'equiparazione tra il miglioramento sui beni monumentali agli interventi locali sugli edifici comuni.

Il passo avanti culturale insito nei concetti di per seguire i minimi interventi necessari a garantire la sicurezza sismica dei fruitori e la salvaguardia del bene e la possibilità di stabilire un livello di sicurezza inferiore rispetto a quello richiesto per i nuovi edifici allo scopo di salvaguardare il bene nei confronti di interventi eccessivamente invasivi è stato spesso disatteso nella pratica ma d'altra parte al meglio non c'è limite.

---

<sup>11</sup> Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 24/01/1986- Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche (G.U. 12/05/1986 n°108) e relativa Circolare Ministero LL.PP. 27690 del 19 Luglio 1986 al D.M. del 24/01/1986. "Istruzioni relative alla normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica"

Ulteriori novità presenti nella norma sono le seguenti:

- 1) Si suggerisce che nelle zone sismiche al metodo alle tensioni ammissibili sia possibile preferire il metodo agli stati limite;
- 2) Per la definizione delle forze sismiche si introduce un fattore R coefficiente di risposta che dipende dal periodo proprio della struttura;
- 3) Si parla di altezza massima della costruzione e non più di numero di piani di un edificio
- 4) Si fissa, attraverso il controllo degli spostamenti, una soglia per quanto riguarda i danni ammissibili per gli elementi non strutturali;

**Decreto Legge n.112 del 31 Marzo 1998 (G.U. n.92 del 21/04/1998)**

**"Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della L. 15 Marzo 1997, n. 59".**

Si tratta di una legge delega che demanda alle Regioni la competenza in materia di individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche, facoltà che prima spettava al Ministero dei Lavori Pubblici; allo Stato rimane la potestà legislativa in materia di emanazione delle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica e la definizione dei criteri per l'individuazione delle medesime zone.

**Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri 20/03/2003 n°3274**

**Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (G.U. 08/05/2003 n°105) e Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM n. 3316 del 2 Ottobre 2003 (G.U. n. 236 del 10/10/2003) "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003":**

Il 20 Marzo 2003 viene emanata l'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n°3274 (G.U. n°105 del 08/05/2003) "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Le principali novità introdotte dalla norma riguardano:

- 1) Il considerare l'intero territorio nazionale come sismico;
- 2) L'obbligatorietà del calcolo semiprobabilistico agli stati limite e le analisi dinamiche con spettro di risposta in recepimento degli Euro codici;
- 3) Il passaggio da una normativa prescrittiva ad una prestazionale;
- 4) Classificazione degli interventi sul patrimonio edilizio esistente; è ammessa la deroga per gli edifici di importanza storico artistica del rispetto della normativa antisismica, fatta salva la stabilità della struttura, in quanto incompatibile con le esigenze di conservazione e tutela del bene;
- 5) L'introduzione del concetto di livello di conoscenza;

- 6) Viene introdotto l'obbligo di verifica entro 5 anni degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità risulta fondamentale in caso di sisma sia per gli edifici e le opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

#### Sismicità dell'intero territorio nazionale e classificazione

L'intero territorio nazionale viene considerato sismico, la nuova classificazione prevede 4 zone caratterizzate da una pericolosità sismica decrescente, tali zone sono individuate da 4 classi di accelerazione massima del suolo con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni; alla precedente classificazione prevista dalla Legge n°64 del 1974 in cui erano presenti 3 zone con sismicità alta, media e basse se ne aggiunge una nuova: la zona 4, per tale categoria e viene demandato alle Regioni la scelta se imporre o meno la progettazione antisismica.

#### Classificazione degli interventi sul patrimonio edilizio esistente

La norma introduce tre tipi di interventi sull'edilizia esistente:

- 1) Adeguamento
- 2) Miglioramento
- 3) Miglioramento controllato

L'Ordinanza introduce, per il miglioramento la necessità di dimostrare che l'insieme delle opere eseguite sia tale da far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza nei confronti del sisma, le novità riguardano:

- 1) Il fatto che la valutazione venga realizzata sull'insieme e non sul singolo elemento costruttivo oggetto di intervento e che, di conseguenza, l'obiettivo del miglioramento non sia più il rinforzo locale ma divenga un livello di sicurezza uniforme tra le diverse parti che compongono la struttura, l'attenzione si sposta dal singolo elemento all'intera struttura ponendo l'attenzione sul comprenderne il comportamento d'insieme;
- 2) La necessità di "quantificare" il miglioramento, come criterio che dimostri la validità degli interventi proposti; se da una parte la quantificazione può costituire un utile riferimento per evidenziare l'aumento del grado di sicurezza ottenuto dall'altra sorge il problema dell'attendibilità dei metodi di quantificazione.

Il riferimento che la norma propone è costituito dai metodi definiti per le strutture intelaiate che prevedono l'applicazione di forze di piano alla struttura, ciò evidentemente mal si adatta ad essere applicato acriticamente a strutture storiche in muratura da qui la necessaria riscoperta della fase anamnestica di ricerca storica e rilievi in situ che caratterizza fortemente le strutture storiche rispetto agli edifici di nuova costruzione come proposto dalla Commissione Ballardini nel 1989.

L'analisi storica viene ad assumere un ruolo centrale sia per la corretta definizione degli elementi strutturali che per i rapporti tra di essi con particolare riferimento alla capacità della

struttura di reagire al sisma in termini meccanismi attivatisi, danni ed interventi di consolidamento cui è stata sottoposta a seguito degli stessi, la struttura diviene un vero e proprio modello al vero di cui è possibile leggere il comportamento ed i danni subiti a seguito dei terremoti.

In questo senso la norma riprende quanto già indicato dalla Circolare del Ministero dei Beni Culturali del 18/07/1986 che prevede che nella fase propedeutica all'intervento vengano condotti studi storico- critici sul bene oggetto di intervento che ne individui le fasi costruttive e le trasformazioni, studi inerenti alla storia sismica del sito in cui sorge; rilievi geometrici e materici con identificazione del grado di conservazione e dei degradi, rilievi del quadro fessurativo allo scopo di individuare chiaramente gli elementi strutturali, i materiali costituenti ed il loro grado di conservazione, il loro grado di vincolo ed i meccanismi di dissesto che li hanno interessati nonché le loro cause.

Viene, inoltre, riaffermato il recupero dell'empirismo, poiché viene affermato che nella valutazione della sicurezza sismica è necessario tenere in conto dell'esperienza derivante dall'esame del comportamento di edifici simili, ove disponibili, nei confronti degli eventi sismici.

#### Livello di conoscenza

Viene introdotto, mediante un meccanismo premiale che consente una riduzione del coefficiente di sicurezza da applicare alle caratteristiche meccaniche dei materiali, il concetto di livello di conoscenza.

Lo scopo è chiaramente quello di incentivare la comprensione della struttura su cui si interviene come già indicato dalle normative precedenti, aspetto caratterizzante l'esistente.

Vengono previsti tre livelli di conoscenza:

- 1) LC1: è il livello che si raggiunge eseguendo un rilievo sommario e prove in situ limitate, ad esso corrisponde un coefficiente amplificativo del coefficiente di sicurezza pari a 1.5;
- 2) LC2: livello di conoscenza raggiunto tramite l'effettuazione di un rilievo completo e verifiche in situ estese, cui corrisponde un fattore pari a 1;
- 3) LC3: livello di conoscenza conseguito tramite un rilievo completo e verifiche in situ adeguate ed esaustive, con coefficiente pari a 0.7.

## **2.2 DECRETO MINISTERIALE DEL 14 GENNAIO 2008**

**(G.U. n. 29 del 4/02/2008) "Norme Tecniche per le Costruzioni" e Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009**

**(G.U. n.47 del 26/02/2009 – Supplemento ordinario n.27) "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14 Gennaio 2008"**

Il decreto riforma le precedenti ordinanze mantenendone, tuttavia, l'impostazione generale.

Le novità principali sono le seguenti:

- 1) L'intero territorio nazionale si considera sismico come già nel 2003 ma la definizione dell'input sismico diviene puntuale non più per zone;
- 2) Si ha la modifica della forma dello spettro di risposta e la caratterizzazione locale dello spettro mediante i coefficienti che tengono conto della categoria di sottosuolo e topografica;
- 3) Vi è la diversificazione della sicurezza dell'edificio attraverso il concetto di "periodo di ritorno" dell'azione sismica ovvero è possibile definire per ciascun edificio la sua capacità in termini di accelerazione ma anche calcolando per l'azione richiesta qual è il periodo di ritorno in relazione all'edificio in esame;
- 4) Il concetto di coefficiente di protezione sismica lascia spazio al concetto di "periodo di riferimento dell'azione sismica" che è funzione dell'importanza dell'opera, in altre parole i rischi che il danneggiamento di una struttura possa coinvolgere un maggior numero di vite umane viene tenuto in conto già in fase di definizione dell'azione e non solo in fase di verifica mediante la scelta del periodo di ritorno dell'azione sismica e di conseguenza dell'accelerazione di picco al suolo da considerare nello spettro di risposta;
- 5) Si hanno nuove combinazioni di carico sia per le condizioni statiche che per quelle sismiche con diversa definizione delle masse sismiche e della combinazione di verifica;
- 6) Si hanno valori diversi per i fattori di conoscenza;
- 7) Vi è una diversa formulazione del fattore di partecipazione nel passaggio per l'analisi statica non lineare da sistema multi degree of freedom (MDOF) al sistema single degree of freedom (SDOF);
- 8) Si elimina il fattore di confidenza (prima  $FC1=1.5$ ,  $FC2=1$ ;  $FC3=0.7$  ora  $FC1=1.35$ ;  $FC2=1.20$ ,  $FC3=1.00$ )
- 9) Si ha l'introduzione di più livelli di azione sismica nell'ottica del performance based design, in precedenza vi erano 3 livelli di danno: collasso (CO), danno severo (DS) e danno limitato (DL); ora si hanno stati limite di esercizio e ultimi così suddivisi: i primi sono stato limite di operatività (SLO) e stato limite di danno (SLD); i secondi stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e stato limite di collasso (SLC).

In definitiva si può affermare che vi è un nuovo modo di calcolare l'azione sismica.

I concetti mantenuti invariati rispetto alle norme del 2003 sono i seguenti:

- 1) Viene mantenuta l'impostazione generale della OPCM 3274/2003 accentuandone il carattere prestazionale;
- 2) Viene ribadito l'obbligo del calcolo agli stati limite;
- 3) Viene mantenuto il concetto del miglioramento per quanto riguarda i beni culturali e l'aspetto che, per gli edifici esistenti, le verifiche avvengano in funzione del livello di conoscenza;

- 4) Viene mantenuta la definizione della risposta sismica in termini di duttilità infatti lo spettro di domanda dell'azione sismica viene diviso per  $q$  il coefficiente che tiene in conto appunto della duttilità della struttura.

### 2.2.1 Aspetti operativi

Nel seguito verrà indicato il percorso necessario alla valutazione della sicurezza sismica, si inizierà partendo dall'individuazione della domanda sismica per giungere alla definizione della capacità della struttura.

#### 1) Vita Nominale

Innanzitutto è necessario definire la vita nominale della struttura; questo è un punto comune tra gli edifici tutelati e quelli non tutelati e pertanto si ritrova sia nelle NTC che nella Direttiva.

Con la locuzione vita nominale si intende il numero di anni per il quale la struttura in esame, effettuando solo manutenzione ordinaria, si mantiene in condizioni tali da poter essere utilizzata per lo scopo al quale è stata destinata.

Tabella 2-1-Tab. 2.4.1- Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

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

Per gli edifici tutelati il tema della vita nominale è di fondamentale importanza, se per le nuove costruzioni, infatti, è necessario fare riferimento ad una vita nominale minima per opere ordinarie di 50anni, per i primi non è così poiché il DPCM 2011 prevede la possibilità di vita nominale più breve.

Il concetto chiave che sta dietro alla normativa è intimamente legato al concetto di miglioramento sismico dei beni culturali la cui conservazione è stata garantita in passato da una revisione periodica delle condizioni e dalla manutenzione<sup>12</sup>: ciò ha garantito le strutture esistenti nei confronti di interventi invasivi permettendo mediante sostituzioni ed integrazioni puntuali la durabilità dei materiali storici.

Si tratta, in definitiva, di verificare allo stato attuale qual è la vita residua dell'edificio, di determinare mediante gli interventi progettuali quale diviene il nuovo orizzonte temporale al compimento del quale si dovrà effettuare una nuova valutazione della sicurezza potendo, a quel punto usufruire dei progressi tecnologici occorsi.

<sup>12</sup> Si veda a tal fine per gli aspetti teorici del restauro programmato C. Brandi, Teoria del restauro. Lezioni raccolte da L. Vlad Borrelli, J. Raspi Serra e G. Urbani, Roma 1963 - Edizioni di Storia e Letteratura; Collana Piccola Biblioteca, Torino, Einaudi, 1977, p.54 e Della Torre S. (a cura di), *La conservazione programmata del patrimonio storico- architettonico. Linee Guida per i piani di manutenzione e consuntivo scientifico*, Milano, Guerini e Associati, 2003

In tale ottica a fronte di monitoraggio e manutenzione, e di una vita nominale ridotta (che implica la tutela della costruzione in termini probabilistici per un numero minore di anni) sarà possibile evitare interventi invasivi.

## 2) Classe d'uso

La classe d'uso è un parametro che tiene in conto degli effetti derivanti da un'interruzione o dal collasso della struttura in termini di danni materiali e perdita di vite umane, agisce aumentando il periodo di ritorno del sisma ovvero per edifici il cui collasso è in grado di determinare maggiori effetti si procede considerando un'azione sismica corrispondente ad un periodo di ritorno maggiore in altre parole per edifici il cui collasso sia particolarmente significativo si considera un sisma con un'accelerazione di picco al suolo maggiore.

Tabella 2-2-Classe d'uso per diversi tipi di opere

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

## 3) Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento per l'azione sismica è il parametro che entra in gioco nella valutazione dell'azione sismica agente su una data struttura.

Si valuta moltiplicando il coefficiente d'uso che dipende dalla classe d'uso della struttura con la vita nominale della stessa.

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Tabella 2-3-Tab. 2.4.II- Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

Il periodo di riferimento, per gli edifici non tutelati, ha come minimo il valore pari a 35 anni, per gli edifici tutelati tale limite può risultare inferiore in relazione alla necessità di preservare la struttura da edifici eccessivamente invasivi.

Il concetto chiave, come già ricordato, è che per una struttura il cui collasso risulti particolarmente dannoso in termini di vite umane o danni materiali si considera uno spettro temporale più ampio in riferimento al periodo di riferimento dell'azione sismica che equivale a considerare un'accelerazione di picco al suolo maggiorata.

#### 4) Periodo di ritorno dell'azione sismica

Le norme legano il periodo di riferimento  $V_R$ , alla probabilità di superamento corrispondente ad un dato stato limite, al periodo di ritorno dell'azione sismica mediante la seguente relazione.

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

La pericolosità sismica del territorio nazionale viene fornita dalle NTC in funzione del luogo in cui sorge la costruzione e di diversi periodi di ritorno, funzione, a loro volta, della probabilità di superamento del periodo di ritorno considerato.

Per la verifica nei confronti dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si fa riferimento ad una probabilità di eccedenza del 10% nel periodo di riferimento; per la verifica nei confronti dello Stato Limite di Danno ad una probabilità del 63%.

In altre parole noti vita nominale e coefficiente d'uso si calcola il periodo di riferimento dell'azione sismica; si sceglie il tipo di verifica da condurre che determina lo Stato Limite di riferimento cui corrisponde una data probabilità di superamento, ciò determina il periodo di ritorno dell'azione sismica.

#### 5) Stati limite e probabilità di superamento

Gli stati limite vengono definiti in funzione del comportamento della costruzione nel suo complesso ovvero elementi strutturali, elementi non strutturali ed impianti a seguito del sisma.

Gli stati limite di esercizio sono:

- 1) Stato Limite di Operatività (SLO): la costruzione non subisce interruzioni d'uso significative;
- 2) Stato Limite di Danno (SLD): i danni che la struttura ha subito sono tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e rigidità nei confronti delle azioni siano esse verticali o orizzontali; l'edificio risulta immediatamente fruibile pur con interruzioni d'uso di parte delle apparecchiature in esso contenute.

Gli stati limite ultimi sono:

- 1) Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni significativi alle strutture con significativa variazione di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali, permane, tuttavia, una parte della

resistenza e della rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed un margine di sicurezza nei confronti del collasso dovuto ad azioni sismiche orizzontali;

- 2) Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): l'edificio subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi alle strutture, la costruzione conserva un margine di sicurezza per azioni verticali ed un margine esiguo nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento durante il periodo di riferimento  $V_R$ ; qualora si renda necessario garantire una diversa protezione nei confronti degli stati limite di esercizio possono essere variati i valori di  $P_{VR}$  in funzione della stessa.

Tabella 2-4-Tab. 3.2.1- Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Stati limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

#### 6) Azione sismica

Le azioni sismiche si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Tale pericolosità è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente in funzione di prefissate probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Nelle NTC2008 le forme spettrali sono definite in funzione della probabilità di superamento nei periodi di riferimento a partire dai valori seguenti su sito di riferimento rigido orizzontale:

- 1)  $a_g$ : accelerazione orizzontale massima;
- 2)  $F_0$ : fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- 3)  $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

##### a. Categorie di sottosuolo e condizione topografica

Per definire l'azione sismica di progetto è necessario individuare la categoria di sottosuolo su cui sorge la struttura in esame.

Tabella 2-5-Tab. 3.2.II- Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
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 $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

La caratterizzazione geotecnica dovrà coinvolgere un volume di terreno significativo ovvero la porzione di sottosuolo in cui si avverte direttamente o indirettamente l'influenza della costruzione e che, pertanto, è in grado di influenzare il manufatto stesso.

La classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità.

Per le fondazioni superficiali tale profondità si riferisce al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa di questi ultimi.

Quando non è possibile ricorrere alla misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio si può ricorrere, ai fini della classificazione, ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica  $N_{SPT,30}$  nei terreni a prevalente grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  nei terreni a prevalente grana fine.

Per i sottosuoli appartenenti alle categorie S1 ed S2 è necessario disporre di specifiche analisi per definire le azioni sismiche in particolar modo nei casi in cui si riscontrino terreni suscettibili di liquefazione e argille ad elevata sensibilità che possono presentare fenomeni di collasso.

Tabella 2-6-Tab. 3.2.III- Categorie aggiuntive di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

### b. Condizioni topografiche

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per determinare l'azione sismica si fa riferimento alla tabella seguente:

Tabella 2-7-Tab. 3.2.IV- Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

### i. Amplificazione stratigrafica

Per le categorie di sottosuolo diverso dalla A, devono essere calcolati i valori di  $S_s$  e  $C_C$  che modificano lo spettro di riferimento.

$S_s$  e  $C_C$  sono funzione di  $F_0$  e  $T_C^*$ .

Tabella 2-8-Tab. 3.2.V- Espressioni di  $S_s$  e di  $C_C$ 

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$C_C$
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
e	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

### ii. Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche si fa ricorso al coefficiente stratigrafico.

$S_T$  aumenta con andamento lineare con l'altezza del pendio dalla base in cui ha valore unitario fino alla sommità del rilievo.

Tabella 2-9-Tab. 3.2.VI- Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	---	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

7) Valutazione dell'azione sismica

La valutazione dell'azione sismica avviene tramite l'utilizzo degli spettri di risposta elastico in accelerazione e spostamento per le componenti orizzontali e verticali del moto.

a. Spettro di risposta elastico in accelerazione

Per determinare lo spettro di risposta elastico si moltiplica lo spettro normalizzato riferito ad uno smorzamento convenzionale del 5% per il valore dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale.

Il periodo di riferimento scelto determina sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$ .

Per strutture con periodi fondamentali maggiori di 4.0 s o in presenza di sottosuoli S1 o S2 l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi.

i. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito come segue:

Tabella 2-10-Spettri di risposta orizzontali in funzione del periodo proprio della struttura

$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$

Dove:

- 1) S: è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche

$$S = S_S \cdot S_T$$

Dove:

- a.  $S_S$ : è il coefficiente di amplificazione stratigrafica;  
 b.  $S_T$ : è il coefficiente di amplificazione topografica;

- 2)  $\eta$ : è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi dal 5% mediante la formulazione seguente:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{(5 + \varepsilon)}} \geq 0.55$$

- 3)  $F_0$ : è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale ed ha come estremo inferiore il valore 2.2;  
 4)  $T_C$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante, è dato da:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

Dove  $C_C$  dipende dalla categoria di sottosuolo e  $T_C^*$  è il periodo di inizio del tratto a velocità costante

- 5)  $T_B$  è il periodo dell'inizio del tratto ad accelerazione costante:

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

- 6)  $T_D$ : è il periodo corrispondente al tratto a spostamento costante espresso come segue:

$$T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Lo spettro di riferimento fornito fa riferimento ad un sottosuolo di categoria A, tale forma viene modificata attraverso:

- 1) Il coefficiente stratigrafico  $S_S$ ;
- 2) Il coefficiente topografico  $S_T$ ;
- 3) Il coefficiente  $C_C$

per ottenere la forma relativa alle altre categorie di sottosuolo.

ii. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Lo spettro di risposta elastico della componente verticale è definito come segue:

Tabella 2-11-Spettri di risposta verticali in funzione del periodo proprio della struttura

$0 \leq T < T_B$	$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T < T_C$	$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V$
$T_C \leq T < T_D$	$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$
$T_D \leq T$	$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$

Dove:

- 1)  $T$ : è il periodo di vibrazione;
- 2)  $S_{ve}$ : è l'accelerazione spettrale verticale;
- 3)  $F_V$ : è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_V = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0.5}$$

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $S_T$ ,  $\eta$  sono i medesimi delle componenti orizzontali, i valori di  $S_s$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  sono riportati nella tabella a seguire

Tabella 2-12-Tab. 3.3.VII\_ Spettri di risposta verticali in funzione del periodo proprio della struttura

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1.0	0.05 s	0.15s	1.0s

iii. Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali  $S_{De}(T)$  si ricava dalla corrispondente risposta in accelerazione  $S_e(T)$  ed è definito come segue:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

Il periodo di vibrazione  $T$  non deve eccedere i valori di  $T_E$  riportati in Tabella.

Tabella 2-13-Tab. 3.3.VIII\_ Valori dei parametri  $T_E$  e  $T_F$

Categoria di sottosuolo	$T_E$ [s]	$T_F$ [s]
A	4.5	10.0
B	5.0	10.0
C, D, E	6.0	10.0

Se i valori del periodo di vibrazione eccedono  $T_E$  le ordinate dello spettro si calcolano come segue:

Per $T_E < T \leq T_F$	$S_{De}(T) = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot \left[ F_0 \cdot \eta + (1 - F_0 \cdot \eta) \cdot \frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right]$
Per $T > T_F$	$S_{De}(T) = d_g$

Con  $d_g$  spostamento orizzontale del terreno calcolato come segue

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D$$

iv. Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Ai fini della verifica delle strutture vengono ridotte le forze elastiche per tenere in conto della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovra resistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

Lo spettro di progetto si ottiene dal corrispondente spettro elastico con le ordinate ridotte ottenute sostituendo nelle equazioni per la determinazione dello spettro elastico il termine  $\eta$  con  $1/q$  dove  $q$  è il fattore di struttura.

Il valore minimo di  $S_d(T)$  deve essere in ogni caso maggiore o uguale a  $0.20a_g$ .

### 8) Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni

La combinazione di riferimento per le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio è la seguente

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

Dove:

- 1)  $G_1$  sono i carichi dovuti ai pesi propri;
- 2)  $G_2$  sono i carichi permanenti portati;
- 3)  $P$  sono i carichi dovuti alle pretensioni e precompressioni
- 4)  $E$  sono i carichi dovuti al sisma
- 5)  $Q$  sono i carichi variabili

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

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

I coefficienti di combinazione sono riportati nella tabella a seguire e dipendono dal tipo di azione variabile.

Tabella 2-14-Tab. 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

### 9) Quantificazione del livello di sicurezza

La quantificazione del livello di sicurezza può essere fatta almeno in tre modi diversi:

- 1) Valutando l'indice di sicurezza;
- 2) Calcolando il fattore di accelerazione;
- 3) Stimando la vita residua.

Il concetto che sta alla base di questi indicatori è che il tempo di ritorno, la vita residua, la vita nominale, l'accelerazione di picco al suolo e la probabilità di superamento sono proprietà connesse le une alle altre dai legami prima esplicitati matematicamente.

a. Indice di sicurezza

Per quantificare il livello di sicurezza è possibile calcolare il rapporto tra il periodo di ritorno dell'azione sismica che porta al generico stato limite ed il corrispondente periodo di ritorno di riferimento.

Per quanto riguarda lo Stato Limite di salvaguardia della Vita l'indice di sicurezza si calcola come segue:

$$I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}}$$

b. Fattore di accelerazione

È possibile calcolare il rapporto fra l'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita e quello corrispondente al periodo di ritorno di riferimento.

$$f_{a,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}}$$

Tale parametro è utilizzato per quantificare il deficit in termini di resistenza della struttura.

c. Vita residua

Si può considerare un parametro dipendente dal periodo di ritorno che la struttura è in grado di garantire.

Per ciascun bene culturale tutelato, in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  ed allo stato limite considerato, cui è associata una probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento, può essere valutato il periodo di ritorno di riferimento dell'azione sismica  $T_R$  come indicato al Punto 4).

$$V_R = -T_R \cdot \ln(1 - P_{VR})$$

Invertendo la formulazione è possibile conoscere la vita residua di una struttura, noti il periodo di ritorno  $T_R$  e la probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel dato periodo, in riferimento allo stato limite considerato.

d. Vita nominale

Questo si può definire come un parametro dipendente dagli altri in quanto per determinarlo è necessario conoscere il tempo di ritorno che è in grado di garantire la struttura, il coefficiente d'uso, la probabilità di superamento connessa ad un dato stato limite; particolarmente significativo risulta essere il calcolo della vita nominale in riferimento allo stato limite di Salvaguardia della Vita umana, che note queste incognite è calcolato come segue:

$$V_N = -\frac{T_{SL}}{C_U} \cdot \ln(1 - P_{VR})$$

Dove

- 1)  $T_{SL}$  è il periodo di ritorno dell'azione sismica che porta al raggiungimento del generico stato limite;
- 2)  $P_{VR}$  è la probabilità di superamento relativa allo stato limite considerato

3)  $C_u$  è il coefficiente d'uso della costruzione in esame

Valori della vita nominale maggiori di 20 anni possono comunque considerarsi ammissibili per un manufatto tutelato in considerazione del fatto che è possibile accettare valori inferiori ai valori soglia richiesti dalla normativa per i beni non tutelati.

## **2.3 DIRETTIVA P.C.M. 9 FEBBRAIO 2011 -**

### **Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008**

La direttiva si pone l'intento di specificare al meglio quanto contenuto nelle NTC2008 e nella relativa circolare esplicativa per quanto riguarda il campo dei beni tutelati ed in particolare delle costruzioni in muratura.

Si pone l'obiettivo di indicare un percorso di conoscenza e valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e di progetto di eventuali interventi al fine di formulare un giudizio sulla sicurezza e conservazione del manufatto.

Chiaramente, come già ribadito, per i beni tutelati l'intervento ritenuto più opportuno è quello del miglioramento sismico.

Viene demandato al progettista l'onere e l'onore dell'intervento lasciando ampio margine di intervento pur nel quadro generale di un incremento delle condizioni di sicurezza.

Viene introdotto lo stato limite di danno ai beni artistici (SLA) per tutelare specifiche opere d'arte conservate nel manufatto quali stucchi, affreschi, ...così definito: i beni artistici contenuti nel manufatto, intesi come apparati decorativi, superfici pittoriche, elementi architettonici di pregio (altari, organi, balaustre, pavimentazioni, ecc.) nonché beni mobili pertinenziali (pale d'altare, fonti battesimali, statue, ecc.) a seguito di un terremoto di livello opportuno (in genere quello relativo allo stato limite di danno) subiscono danni di modesta entità, tali da poter essere restaurati senza una significativa perdita del valore culturale.

Da notevoli indicazioni sul percorso di conoscenza da seguire per l'identificazione del manufatto in termini storici, artistici, geometrici, strutturali, di identificazione delle vulnerabilità fino a giungere ad un giudizio sul livello di sicurezza del bene e sulla necessità di intervenire.

Fa riferimento ad un modello meccanico semplificato per la valutazione a scala territoriale della sicurezza del bene tutelato.

#### **2.3.1 Aspetti operativi**

Nel seguito vengono analizzati i principali aspetti innovativi delle Linee Guida.

##### **1) La valutazione della sicurezza sismica**

Per gli edifici storici tutelati la Direttiva prevede tre diversi livelli di valutazione della sicurezza sismica in funzione dell'obiettivo progettuale che si intende perseguire distinguendo tre casi fondamentali:

1) Valutazione del livello di sicurezza di un bene a scala territoriale;

2) Valutazione del livello di sicurezza in un progetto che prevede di intervenire su singole parti della costruzione;

3) Valutazione del livello di sicurezza in un progetto che prevede interventi estesi sul manufatto.

Il fine che questa gradualità di indagine propone è quello di ottenere una valutazione del livello di sicurezza a scala territoriale sulla globalità dei beni tutelati che permetta una valutazione relativa alla priorità di intervento che solo qualora si intenda intervenire sulla costruzione si possa approfondire in funzione dell'intervento proposto evitando così invasive ed onerose campagne di indagine; si ottiene così uno strumento generale flessibile e graduabile.

Si riporta nel seguito una sintetica descrizione dei livelli proposti.

a. Livello LV1: analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati

Il livello LV1 permette una valutazione a scala territoriale del rischio sismico facendo ricorso all'utilizzo di modelli semplificati allo scopo di stabilire priorità di intervento nell'ottica che il presupposto imprescindibile per conservarlo nel tempo e fruirla in sicurezza è la conoscenza del livello di rischio cui è soggetto.

I dati relativi al manufatto, opportunamente organizzati mediante moduli schedografici, concorrono alla determinazione del comportamento strutturale del manufatto permettendo la formulazione di un giudizio qualitativo sul livello di rischio.

L'identificazione del comportamento sismico della struttura avviene basandosi su una lettura per macroelementi ovvero riconoscendo all'interno della struttura quelle parti architettoniche caratterizzate da un comportamento in una certa misura autonomo rispetto al resto della costruzione; per ciascun macroelemento si possono individuare uno o più meccanismi di collasso valutando la vulnerabilità della costruzione nei loro confronti; si perviene così ad un giudizio espresso in forma linguistica attraverso un livello di vulnerabilità basso, medio o alto.

Esiste la relazione mostrata nel seguito tra il giudizio espresso e l'accelerazione di picco al suolo allo stato limite di salvaguardia della vita umana:

Vulnerabilità	Accelerazione di picco al suolo allo SLV
Bassa	0.3-0.4 g
Media	0.2-0.3 g
Alta	0.1-0.2 g

b. Livello LV2: valutazione su singoli macroelementi (meccanismi locali di collasso)

Il livello LV2 viene utilizzato per la valutazione di interventi di restauro che interessano singole parti della costruzione, facendo riferimento a modelli locali riferiti a porzioni strutturalmente autonome (macroelementi).

Per la valutazione complessiva del manufatto si fa riferimento a metodi LV1, sulle singole parti su cui si interviene si procede mediante analisi cinematica, lineare o non lineare, valutazioni più dettagliate

per interventi che non modificano significativamente il comportamento complessivo della struttura risulterebbero eccessivamente gravoso in particolare in costruzioni molto articolate.

Per ciascun macroelemento su cui si interviene la differenza in termini di capacità della struttura in termini di accelerazione consente di esprimere un giudizio sul miglioramento conseguito.

c. Livello LV3: valutazione complessiva della risposta sismica del manufatto

Il livello LV3 permette una valutazione della sicurezza sismica del manufatto nel suo complesso.

È necessario conseguire tale livello di approfondimento quando si operi mediante interventi che modificano il comportamento manifesto della struttura o quando si intervenga su edifici strategici per l'importanza sociale che riveste la conoscenza della sicurezza di tali strutture.

La verifica può essere condotta facendo riferimento o ad un modello globale o mediante la scomposizione della struttura in macroelementi a condizione che venga valutata la ripartizione delle azioni sismiche tra i diversi sistemi strutturali in funzione delle rigidezze e dei collegamenti tra gli elementi.

La differenza fondamentale rispetto al livello LV2 risiede nell'applicazione sistematica su ciascun elemento della costruzione della valutazione del livello di sicurezza.

2) Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

In funzione del livello di conoscenza conseguito tramite la fase di rilievo geometrico, materico e dei degradi, del quadro fessurativo, la fase di identificazione degli elementi strutturali e dei vincoli esistenti tra loro, nonché grazie alle indagini strumentali svolte e possibile definire fattori di confidenza diversificati, maggiore è la conoscenza della struttura e la consapevolezza delle sue vulnerabilità minore sarà il fattore amplificativo del coefficiente di ignoranza.

Il fattore di confidenza si applica in maniera diversificata in funzione del modello per la valutazione della sicurezza considerato.

3) Modelli di valutazione per tipologie

Per quanto le costruzioni storiche si presentino come sorte di unicum è possibile riconoscere in esse caratteri ricorrenti, la DPCM prevede la seguente suddivisione per ognuna delle quali viene fornito un modello meccanico semplificato:

- 1) Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi;
- 2) Chiese, luoghi di culto ed altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi;
- 3) Tori, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale.

Ai fini della presente ricerca l'attenzione viene posta sulla prima "tipologia".

a. Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi

Questa tipologia è caratterizzata da pareti portanti disposte nelle due direzioni e da un sistema di orizzontamenti intermedi.

Spesso sono strutture realizzate con grande cura, con materiali di qualità e regolarità dell'impianto tutti aspetti che le rendono adatte ad essere modellate mediante telaio equivalente.

Non tuttavia in nessun caso possibile evitare di considerare i possibili meccanismi locali che si possono attivare o sono già presenti; al modello globale è, pertanto, necessario affiancare un modello che ne tenga debitamente conto.

### *i. Modello meccanico semplificato LV1*

La Direttiva propone un modello meccanico semplificato.

Il modello consente la determinazione di una valutazione quantitativa del periodo di ritorno e dell'accelerazione di picco al suolo cui corrisponde il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita; il modello ipotizza che la rottura delle pareti avvenga nel proprio piano nell'ambito di un comportamento globale della struttura; il modello non contempla meccanismi locali che vanno valutati separatamente.

La capacità della struttura in termini di accelerazione sarà la minore tra quella calcolata per i meccanismi locali e quella relativa al meccanismo di collasso globale.

#### Definizione dell'ordinata dello spettro di risposta

La definizione di tale valore si ottiene come segue:

$$S_{e,SLV} = \frac{q \cdot F_{SLV}}{e^* \cdot M}$$

Dove:

- 1)  $F_{SLV}$  è la resistenza a taglio dell'edificio;
- 2)  $q$  è il coefficiente di struttura;
- 3)  $M$  è la massa sismica totale;
- 4)  $e^*$  è la frazione di massa partecipante al primo modo di vibrare.

#### Definizione dell'accelerazione riferita al suolo rigido

In base al valore dell'ordinata dello spettro si ricava il tempo di ritorno  $T_{SLV}$  dell'azione sismica corrispondente.

Il valore dell'accelerazione riferita al suolo rigido (categoria A) che porta al raggiungimento dello SLV si calcola come segue:

$$a_{SLV} = \begin{cases} \frac{S_{e,SLV}(T_1)}{S \cdot F_0} & \text{se } T_B \leq T_1 < T_C \\ \frac{S_{e,SLV}(T_1) \cdot T_1}{S \cdot F_0 \cdot T_C} & \text{se } T_C \leq T_1 < T_D \end{cases}$$

Dove:

- 1)  $T_1$  è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura
- 2)  $T_B, T_C, T_D$  sono i periodi caratteristici dello spettro di risposta
- 3)  $S = S_S \cdot S_T$  è il coefficiente che tiene in conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.

#### Valutazione della resistenza a taglio globale dell'edificio

La resistenza a taglio dell'edificio viene valutata come la minore tra quelle relative alle due direzioni perpendicolari, solitamente scelte secondo gli assi prevalenti dei muri portanti.

L'ipotesi base è che soggiace al modello è che, considerati per ciascuna direzione i pannelli murari portanti verticali, il collasso avviene quando la tensione tangenziale media raggiunge un'opportuna percentuale della resistenza a taglio del materiale muratura.

Nell'ipotesi di valutare la resistenza a taglio lungo la direzione x si ha la seguente formulazione:

$$F_{SLV,xi} = \frac{\mu_{xi} \cdot \varepsilon_{xi} \cdot \zeta_x \cdot A_{xi} \cdot \tau_{di}}{\beta_{xi} \cdot k_i}$$

Dove:

- 1)  $\mu_{xi}$  è il coefficiente che considera l'omogeneità di rigidezza e resistenza dei maschi murari, che viene valutato come segue:

$$\mu_{xi} = 1 - 0.2 \cdot \sqrt{\frac{N_{mxi} \cdot \sum_j A_{xi,j}^2}{A_{xi}^2} - 1} \geq 0.8$$

Dove:

- a)  $N_{mxi}$  è il numero di maschi murari in direzione x al piano i-esimo;  
 b)  $A_{xi,j}$  è l'area del generico maschio in direzione x al piano i-esimo;  
 c)  $\sum_j A_{xi,j} = A_{xi}$  è la sommatoria estesa a tutti i maschi del piano
- 2)  $\varepsilon_{xi}$  è il coefficiente che considera il tipo di rottura prevista nella maggioranza dei maschi murari presenti all'i-esimo piano, assume i valori seguenti:

Nel caso di collasso per taglio	→ 1
Nel caso di collasso per pressoflessione ovvero in presenza di maschi snelli poco caricati assialmente o in presenza di fasce deboli	→ 0.8

- 3)  $\zeta_x$  è il coefficiente che considera la resistenza delle fasce murarie di piano nelle pareti disposte in direzione x, assume i valori seguenti:

Nel caso di fasce resistenti e rottura dei maschi murari verticali	→ 1
Nel caso di fasce deboli non in grado di bloccare la rotazione all'estremità dei maschi	→ 0.8

- 4)  $A_{xi,j}$  è l'area resistente a taglio dei muri piano i-esimo, disposti parallelamente alla direzione x, considerando anche i pannelli con inclinazione compresa tra  $\pm 45^\circ$ , considerandone la proiezione sull'asse x (ovvero moltiplicando l'area per  $\cos \alpha$  (con  $\alpha$  angolo tra la direzione dell'asse x e la direzione del maschio considerato);
- 5)  $\tau_{di}$  è il valore di calcolo della resistenza a taglio della muratura nei maschi murari del piano i-esimo calcolato come segue:

$$\tau_{di} = \tau_{0d} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0i}}{1.5 \cdot \tau_{0d}}}$$

Dove:

- a)  $\tau_{0d}$  è valore di calcolo della resistenza a taglio della muratura valutato tenendo conto del fattore di confidenza FC;

b)  $\sigma_{0i}$  è l'area è la tensione verticale media sulla superficie resistente dei muri all'i-esimo piano;

6)  $\beta_{xi}$  è il coefficiente di irregolarità in pianta al piano i-esimo è funzione dell'eccentricità del centro delle rigidezze rispetto al baricentro delle masse  $e_{yi}$  e della distanza tra il baricentro delle rigidezze e la parete più esterna in direzione x  $d_{yi}$ , è valutato come segue:

$$\beta_{xi} = 1 + 2 \cdot \frac{e_{yi}}{d_{yi}} \leq 1.25$$

Oppure in modo più accurato tramite la formula seguente

$$\beta_{xi} = 1 + \frac{e_{yi} \cdot d_{yi} \cdot A_{xi}}{\sum_k (y_k - y_{Ci})^2 \cdot A_{xi,k}} \leq 1.25$$

Dove:

a)  $y_k$  è la posizione della parete k-esima rispetto al sistema di riferimento

b)  $y_{Ci}$  è il baricentro delle rigidezze, valutato come segue:

$$y_{Ci} = \frac{\sum_k y_k \cdot G_{M,k} \cdot A_{xi,k}}{\sum_k G_{M,k} \cdot A_{xi,k}}$$

Dove:

i)  $G_{M,k}$  è il modulo di taglio della muratura;

ii)  $A_{xi,k}$  l'area resistente in pianta della parete k-esima in direzione x

7)  $k_i$  è il rapporto tra la risultante delle forze sismiche al piano i-esimo e la forza sismica totale.

### Determinazione della massa in riferimento all'azione sismica

La massa che entra in gioco nella valutazione della azione sismica viene calcolata come indicato nel seguito:

$$M = \frac{(G_k + \sum_1^N \psi_{2j} \cdot Q_{kj})}{g}$$

Dove:

1)  $G_k$  sono i carichi permanenti relativi all'intero edificio;

2)  $\psi_{2j}$  è il coefficiente di combinazione che tiene in conto della possibilità che i carichi accidentali k-esimi siano presenti in occasione del sisma

3)  $Q_{kj}$  sono i carichi variabili relativi al piano j-esimo;

4) N è il numero di piano presenti nell'edificio;

5) g è l'accelerazione di gravità

### Determinazione della massa partecipante

Per valutare la frazione di massa partecipante  $e^*$  e il coefficiente  $k_i$  è necessario ipotizzare una forma modale.

$$e^* = \frac{(\sum_1^N m_j \cdot \Phi_j)^2}{M \cdot \sum_1^N m_j \cdot \Phi_j^2}$$

$$k_i = \frac{\sum_1^N m_j \cdot \Phi_j}{\sum_1^N m_j \cdot \Phi_j}$$

Dove:

- 1)  $\Phi$  è il vettore che rappresenta lo spostamento dei diversi piani secondo la forma assunta come modo di collasso;
- 2)  $m_j$  è la massa del piano j-esimo;
- 3)  $\Phi_j$  è lo spostamento orizzontale al piano j-esimo.

Nel caso in cui non sia possibile definire il modo di collasso  $\Phi$ , si procede definendo una forma modale triangolare, potendo definire i valori di frazione di massa partecipante sul primo modo ed il coefficiente che definisce la forza al piano i-esimo come segue:

$$e^* = 0.75 + 0.25 \cdot N^{-0.75}$$

$$k_i = \frac{\sum_i^N j}{\sum_1^N j}$$

### Procedura di valutazione dell'accelerazione allo stato limite di salvaguardia della vita umana

La valutazione dell'accelerazione allo stato limite di salvaguardia della vita umana si attua attraverso il seguente percorso:

- 1) Si calcola la resistenza secondo le due direzioni in pianta ed ai diversi piano, si ottiene il valore della forza equivalente rapportata a piano terra in modo che i valori per i diversi piani siano tra loro comparabili;
- 2) Si calcola il minimo tra i valori precedentemente calcolati determinando il piano e la direzione di maggiore vulnerabilità;
- 3) Per il piano e la direzione di maggiore vulnerabilità si calcola la capacità dell'edificio in termini di accelerazione di picco al suolo, riferita al suolo rigido.

### Commento al metodo semplificato proposto

Si tratta di un metodo globale che fa riferimento al meccanismo di piano ovvero valuta la capacità in termini di accelerazione per ogni piano per ognuna delle sue direzioni considerate.

Il modello proposto permette l'"ignoranza" dei dettagli costruttivi e dei relativi vincoli permettendo una valutazione quantitativa anche nei casi di conoscenza limitata come peraltro si sottintende in una valutazione a scala territoriale.

La metodologia implica, invece, la valutazione degli sforzi di compressione su ogni singola parete, considerando la combinazione sismica dei carichi in modo da poter determinare la resistenza a taglio della parete stessa.

Il metodo proposto tiene in conto di due potenziali meccanismi di collasso:

- 1) Collasso uniforme;
- 2) Collasso di un interpiano debole

Dalle correlazioni esistenti tra i parametri dello spettro  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  e il tempo di ritorno è possibile determinare quest'ultimo in funzione dei seguenti parametri:

- 1) Per le due direzioni considerate;
- 2) Per le due modalità di collasso possibile;

3) Per ogni piano della costruzione.

È possibile calcolare il minimo dell'accelerazione di picco al suolo e il corrispondente periodo di ritorno dell'azione sismica; dal confronto tra la capacità e la domanda è possibile definire gli indicatori di rischio sismico.

## 2.4 REVISIONE DELLE NTC2008

La revisione delle NTC2008 ha introdotto rilevanti novità riguardo al Capitolo 8 ovvero al capitolo che tratta delle costruzioni esistenti.

La realtà delle costruzioni esistenti è un contenitore piuttosto composito all'interno del quale trovano spazio tanto gli edifici in muratura del XV secolo quanto le strutture in cemento armato della seconda metà del XX secolo, ciò determina una notevole complessità nella ricerca di linee operative comuni. Il procedimento di valutazione della sicurezza deve quindi avere un ampio respiro che deve includere tanto un procedimento quantitativo come definito al Punto 8.3 della Revisione quanto un percorso qualitativo, questo vale in particolar modo per quanto concerne le costruzioni più antiche, esse, infatti, risultano affette da degradi e dissesti che non appaiono numericamente quantificabili ma che sono individuabili chiaramente come vulnerabilità.<sup>13</sup>

La base per l'individuazione di tali vulnerabilità risiede nell'empirismo così come accade per l'identificazione dei meccanismi di primo modo; è demandata al progettista e alla sua capacità di osservazione, sulla scorta degli abachi esistenti il riconoscimento dei meccanismi in atto e/o potenziali da indagare.

Queste ragioni muovono verso la necessità di ampliare il ranges di impostazione estendendo al di là della mera quantificazione il procedimento di valutazione della vulnerabilità.

Ciò che distingue radicalmente una costruzione nuova da una costruzione esistente, ed in maniera più evidente quanto più lunga è stata la storia percorsa dalla struttura, sono le incertezze legate alla conoscenza dei materiali utilizzati, dai vincoli tra i diversi elementi strutturali, del comportamento delle parti risalenti spesso a periodi diversi senza trascurare i fenomeni di degrado e dissesto.

In altre parole per le costruzioni nuove i dati di partenza ovvero organizzazione strutturale, proprietà dei materiali costituiscono una base nota da cui ottenere, osservando le prescrizioni delle norme, un edificio staticamente efficiente, per gli edifici esistenti la prospettiva è diametralmente opposta essi costituiscono una realtà ontologicamente concreta da esplorare da qui l'importanza della conoscenza.

È necessario ricercare i vulnus che la struttura racchiude in sé poiché essi costituiscono la causa prima di pericolo per il dissesto della struttura che spesso sono costituiti da fenomeni di degrado, errori di progettazione o meccanismi locali.

---

<sup>13</sup> Si veda l'intervento del Prof. Blasi riguardo la revisione delle NTC reperibile al seguente indirizzo internet [http://www.lavoripubblici.it/news/2014/12/edilizia/Norme-Tecniche-per-le-Costruzioni-il-capitolo-8-sugli-Edifici-esistenti\\_14306.html](http://www.lavoripubblici.it/news/2014/12/edilizia/Norme-Tecniche-per-le-Costruzioni-il-capitolo-8-sugli-Edifici-esistenti_14306.html)

Si deve, inoltre, tener conto della scarsa rispondenza alla realtà della frase che indica che il percorso per perseguire un incremento della capacità della struttura sia da ricercarsi operando sulla concezione strutturale globale con interventi anche locali.

Negli ultimi anni, infatti, si è consolidata una prassi che ha dimostrato come agendo puntualmente sui meccanismi locali sia possibile ottenere ampi incrementi della capacità della struttura.

Si può istituire un paragone, con le necessarie e doverose differenze, tra l'opera di conservazione e la medicina oncologica: si è in entrambi i casi passati dall'operare il maggior trattamento che il paziente è in grado di sostenere al minimo intervento in grado di risolvere il problema.

Si è dimostrato che operando su specifici meccanismi identificati in fase di valutazione della sicurezza è possibile ottenere un ampio miglioramento della capacità della struttura.

Spesso come già ricordato sono i meccanismi locali a risultare i più vulnerabili solo una volta sistemati quelli e le cause che li determinano è possibile rivolgersi alla valutazione globale della struttura.

Il processo valutativo non deve vedere meccanismi locali e globali come parti contrapposte ma sono facce che vanno valutate in maniera integrata della stessa medaglia.

Un altro aspetto da evidenziare della revisione delle NTC2008 riguarda il fissare per gli interventi di miglioramento sismico delle soglie minimi.

Questo si pone come un aspetto ricco di conseguenze.

Le soglie proposte da conseguire nella fase post- intervento sono le seguenti:

- 1) Per edifici in classe IV, con l'eccezione dei beni culturali, il rapporto tra la capacità e la domanda in termini di accelerazione di picco al suolo deve raggiungere il valore soglia pari a 0.4;
- 2) Per gli edifici in classe III e II, il rapporto tra la capacità e la domanda in termini di accelerazione di picco al suolo deve raggiungere il valore soglia pari a 0.1.

Esclusi i casi che rientrano nell'adeguamento sismico che permangono i medesimi delle NTC2008, tutti gli interventi che portano ad una capacità inferiore alle soglie fissate possono essere considerati interventi locali poiché non cambiano significativamente il comportamento globale della struttura. Poiché per norma solo gli interventi di miglioramento e adeguamento sono soggetti a collaudo statico, si sottraggono a questa fase di controllo tutti quegli interventi che ad esempio interessano gli edifici in classe IV e non raggiungono la soglia del 40%.

Tramite l'introduzione della soglia del 40% per quanto riguarda il rapporto tra capacità e domanda, il normatore introduce un nuovo livello di "accettabilità" del rischio.

Per quanto riguarda l'adeguamento viene reso meno stringente il vincolo che lo rendeva cogente per gli ampliamenti della costruzione, ora viene specificato che risulta necessario conseguire tale livello solamente nei casi in cui si provochi un'alterazione della costruzione su cui si interviene o nel caso di interventi strutturali volti a trasformare la costruzione portando ad un sistema strutturale diverso, impiegando nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.

Proseguendo nel testo, per quanto riguarda il Punto 8.5 si avverte il ritorno ad un ulteriore nodo critico non scindibile da quanto già detto in precedenza.

Si nota nel normatore un chiaro e continuo riferimento alla fiducia nella possibilità mediante un unico modello di tenere in conto la complessità che sta dietro un edificio esistente: nella realtà i modelli sono molteplici, la determinazione della vulnerabilità non un mero ricorso al calcolatore; operativamente una volta eseguito il rilievo geometrico, materico e patologico si procede ad individuare le vulnerabilità, una volta individuate si suddividono in quantificabili o meno e si delinea un percorso che indica quali è possibile calcolare ed il come poterlo conseguire nella maggior parte dei casi determinando una pluralità di modelli.

Chiaramente è onere del progettista l'individuazione del percorso di conoscenza, qualificazione e quantificazione delle problematiche riscontrate, è la mente dell'uomo che deve indirizzare la computazione, essa è solo uno step del percorso volto alla conoscenza di cui anche la valutazione della vulnerabilità fa parte. L'emanazione della revisione delle NTC2008 determina la necessità di una revisione delle linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale; in particolare se pur rimane vero l'aspetto per cui per i beni tutelati è da preferirsi l'intervento di miglioramento rispetto all'adeguamento al fine di evitare onerosi ed invasivi interventi non è più possibile affermare quanto enunciato dalle linee guida ovvero "la presente Direttiva è stata redatta con l'intento di [...] formulare [...] il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di miglioramento sismico." poiché tale intervento non viene più inteso come in precedenza; la nuova accezione indica nel miglioramento il conseguimento almeno di una soglia del 40% per la capacità della struttura in riferimento all'azione prevista per un nuovo edificio, si dovrà necessariamente ricorrere ad un ampliamento dell'enunciato che faccia esplicitamente riferimento anche agli interventi locali.

Se l'obiettivo delle linee guida appare cristallino ovvero evitare per obbligo normativo interventi molto invasivi su manufatti tutelati non altrettanto lineare appare la definizione dell'intervento cui fare riferimento.

Quello che appare critico nell'enunciazione della soglia proposta non è il valore di riferimento che nella maggior parte dei casi viene raggiunto già allo status quo ma il sottointeso ovvero il disconoscimento di un'autonomia di giudizio del progettista su ciò che si ritiene possibile realizzare in un dato edificio senza stravolgerne la natura.

Le linee guida sono state e sono tuttora un emblema della libertà e della responsabilità del progettista nei confronti dell'intervento sul manufatto.

Gli edifici storici tutelati sono molto vari e non è possibile delineare aprioristicamente le operazioni che vi si possono compiere a riguardo, il quadro normativo deve rimanere il più ampio possibile pur salvaguardando i principi di tutela delle vite umane e dei manufatti.

### 3 L'EDIFICARE IN MURATURA

---

"La costanza delle forme costruttive è il risultato della  
uniformità delle esigenze"

Salvatore Di Pasquale<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> S. Di Pasquale, L'arte del costruire. Il migliore antidoto al danno sismico, Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici, Regione Umbria, Dei - Tipografia del Genio Civile, Roma, 1999, p. 547

## L'EDIFICARE IN MURATURA

Nella presente tesi ci si occupa principalmente di edifici in muratura, all'interno di questa grande famiglia confluiscono tanto gli edifici di nuova costruzione quanto quelli esistenti; dal punto di vista della normativa italiana attualmente in vigore, le specifiche comuni ad entrambe le macroaree si trovano nel capitolo 4.5 nelle NTC 2008, in esso vengono definiti i valori minimi delle caratteristiche meccaniche della muratura e dei suoi componenti (malta ed elementi resistenti), l'organizzazione strutturale che l'edificio deve seguire improntata ai criteri di semplicità e regolarità plano- altimetrica nonché le verifiche statiche a SLU e SLE; il riferimento all'esistente si trova, invece, all'interno del capitolo 8 così come integrato dalla Circolare n°617 e dal suo allegato.

All'interno delle strutture già edificate possiamo trovare due ulteriori sotto categorie che distinguono gli edifici cosiddetti "comuni" da quelli aventi valore storico- artistico- testimoniale per i quali le Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico<sup>15</sup> e il Codice dei beni culturali<sup>16</sup> sono un valido riferimento.

Si può sintetizzare la suddivisione descritta come segue:



### 3.1 CONFRONTO TRA EDIFICI DI NUOVA COSTRUZIONE ED EDIFICI ESISTENTI

L'aspetto principale che differenzia il nuovo dall'esistente risiede nel fatto che nel primo caso è il progettista a scegliere aspetti chiave della costruzione quali gli elementi strutturali ed il loro grado di vincolo, i materiali e le loro caratteristiche meccaniche, i particolari costruttivi mentre nel secondo il suo compito è, innanzitutto, quello di conoscere ciò che già esiste.

<sup>15</sup> Direttiva P.C.M. 9 febbraio 2011-Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008

<sup>16</sup> Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 Legge 6 luglio 2002, n. 137

Oltre all'aspetto precedentemente illustrato ve ne è uno ulteriore connesso al fatto che le strutture esistenti non sono state progettate basandosi su scienza e tecnica delle costruzioni e quindi tramite l'ausilio dei principi della meccanica di strutture e materiali ma su fondamenti empirici: sperimentazione ed osservazione di ciò che aveva funzionato hanno costituito per lunghi periodi il riferimento essenziale per i costruttori.

Le regole dell'arte si basano su regole empiriche che hanno portato a tramandare nel tempo criteri realizzativi e di proporzionamento geometrico che avevano avuto successo ovvero avevano evitato alle strutture eseguite seguendo questi parametri danni o crolli.

Riconoscere in una costruzione la sua adesione alle regole costituisce un primo passo nel percorso di valutazione della sicurezza così come enunciato nelle Linee Guida.

Le regole dell'arte mostrano una specificità locale ovvero variano di territorio in territorio essendo il frutto dell'affinamento dell'uso dei materiali locali proprio di ogni zona.

Nel percorso di valutazione della sicurezza si deve, inoltre, tenere in conto del collaudo che la storia ha imposto al bene oggetto di esame.

Chiaramente l'adesione alla regola dell'arte ed il collaudo della storia non bastano a garantire automaticamente il soddisfacimento della verifica sismica, l'edificio potrebbe soffrire di un accumulo di danno che ne ha compromesso la resistenza strutturale o non essere ancora stato colpito da un terremoto con intensità pari a quella che le norme delineano per lo SLV.

Fondamento di ogni valutazione di sicurezza di una costruzione esistente è la conoscenza del manufatto finalizzata all'analisi strutturale.

L'analisi può essere graduata in funzione della porzione di edificio indagato e del grado di accuratezza, si crea così una sorta di meccanismo iterativo che porta a definire il modello interpretativo più affidabile per la costruzione.

### **3.1.1 Edifici "comuni"**

Tra le costruzioni esistenti vi sono sia gli edifici "comuni" e gli edifici "speciali" che per caratteristiche storiche, artistiche e testimoniali costituiscono una sorta di "unicum".

Gli edifici comuni presentano solitamente un numero di piani inferiore o pari a tre, regolarità in pianta ed in altezza, murature con ampio spessore, aperture regolari e altezze di interpiano non superiore ai 4 metri.

Tali strutture sono state oggetto di un processo di rivalutazione che ha permesso di riconoscere anche in essi valori paesaggistici.

L'evoluzione del pensiero nel campo del restauro ha permesso il superamento dello iato tra edilizia minore ed edilizia monumentale.

Queste strutture sono spesso diffuse sul territorio e lo caratterizzano, la messa in luce del ricorso a materiali e caratteristiche costruttive locali diviene una valida risposta all'omologazione.

L'approccio a questa tipologia di edifici in particolare per quanto riguarda la fase della conoscenza permane comune a quello delle strutture tutelate, ciò che varia è un diverso livello di protezione che è funzione della necessità di evitare perdite irreparabili al patrimonio artistico- culturale.

Spesso nel costruito storico gli edifici comuni si trovano disposti in aggregato e proprio grazie a tale configurazione divengono chiaramente riconoscibili nella matrice territoriale.

### **3.1.2 Edifici aventi valore storico- artistico- testimoniale**

Accanto agli edifici più comuni vi sono emergenze che possono assumere valore storico- artistico. Proprio questi edifici costituiscono delle "sfide", alla statica, alla norma, alla modellazione e fondamentalmente al tempo.

Non esistono regole comuni per descrivere queste strutture, l'inventiva e la necessità di rispondere di volta in volta ad esigenze contingenti, i rimaneggiamenti cui spesso gli edifici storici vengono sottoposti hanno fatto sì che ogni progettista rispondesse in modo diverso.

La consapevolezza della necessità di tutela questa eccezionalità non è sempre stata presente nella mente dell'uomo come è possibile evidenziare in riferimento all'evoluzione delle teorie del restauro ed è figlia, primariamente, della consapevolezza del trascorrere del tempo e del mutare degli eventi della storia: la conquista della comprensione da parte dell'uomo di non trovarsi immerso in un unico continuum lo ha reso edotto di un mutare del tempo, del linguaggio, della cultura di cui anche l'architettura fa parte.

## **3.2 IL MATERIALE MURATURA**

La muratura è una delle prime tecnologie costruttive che l'uomo ha utilizzato.

L'uomo ha iniziato a costruire assemblando ciò che reperiva in natura così legno, paglia, fibre naturali e argilla cruda divennero i primi materiali da costruzione cui si aggiunsero le pietre naturali dapprima utilizzate come reperibili in natura, quindi sbazzate e, successivamente, tagliate in blocchi sempre più lineari.

Il passo successivo è stato rappresentato dalla cottura dell'argilla cruda modellata in blocchi che vennero assemblati dapprima a secco quindi con l'uso di malta.

Le costruzioni in muratura sono, quindi, nate in maniera sperimentale ed empirica, le "prove" hanno via via portato a codificare un insieme di regole basate sull'evidenza sperimentale.

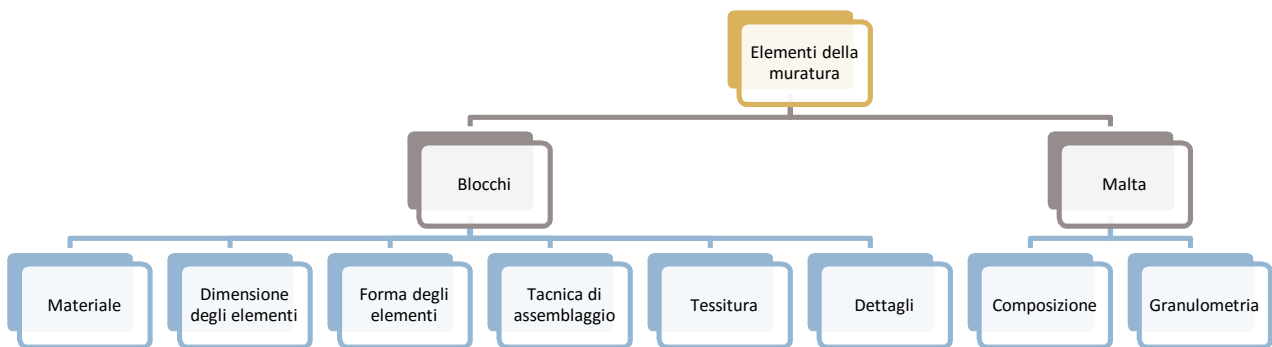
Gli edifici realizzati come una sorta di modelli in vera grandezza, sottoposti tanto alle azioni interne quanto a quelle esterne, evidenziavano quali strutture erano più adatte a sopravvivere.

Tra le strutture in grado di sopportare i carichi vi era ricorrenza di determinati aspetti costruttivi; queste consuetudini sono andate a costituire le così dette "regole dell'arte" ovvero norme costruttive il cui rispetto garantiva la sopravvivenza della costruzione ovvero la sua capacità di affrontare adeguatamente i carichi agenti.

L'uso della muratura è, quindi, precedente all'avvento della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, solo gli edifici di recente costruzione sono progettati facendo riferimento ad un corpo di norme codificate, proprio in virtù di questo aspetto la normativa italiana vigente dedica un intero capitolo agli edifici esistenti.

La muratura è un materiale composito costituito dall'assemblaggio di elementi che possono essere naturali o artificiali e nella maggior parte dei casi da malta (esistono, tuttavia, murature ottenute con tecniche a secco).

Nel seguito si riportano le variabili che influenzano la risposta meccanica del materiale, occorre, inoltre, ricordare che la resistenza della muratura è influenzata non solo dai parametri di resistenza e deformabilità dei costituenti ma anche dai loro valori relativi.



Le tipologie dipendono da:

- 1) Tipo di blocchi
  - a. Materiale costituente
    - i. Naturale: pietra, terra cruda, ...
    - ii. Artificiale: laterizio,
  - b. Dimensioni degli elementi
- 2) Forma degli elementi che dipende primariamente dal tipo di lavorazione:
  - a. Pietre erratiche,
  - b. Pietre a spacco,
  - c. Pietre sbazzate,
  - d. Pietre e laterizi squadrati,
- 3) Tecniche di assemblaggio: a secco o con giunti di malta;
- 4) Tessitura:
  - a. Numero di teste e disposizione geometrica degli elementi ed eventuale presenza di nucleo interno;
  - b. Presenza di diatoni;
  - c. Alternanza diatoni- ortostati;
  - d. Regolarità dei corsi;
  - e. Presenza di listature,
- 5) Dettagli costruttivi

- a. Ammorsamento della muratura sia per quanto riguarda il vincolo mutuo tra i diversi paramenti che le connessioni con gli altri elementi strutturali
- 6) Tipo di malta
- a. Composizione
    - i. Calce e gesso;
    - ii. Cemento;
    - iii. Rapporto tra i vari componenti, quantità di acqua, ...;
  - b. Granulometria
    - i. Inerti fini,
    - ii. Inerti grossolani
    - iii. Curva granulometrica

Sia i blocchi che le malte hanno una resistenza a compressione molto maggiore della resistenza a trazione; i così come la malta presenta un comportamento elasto-fragile se sottoposta a trazione dimostra ed una resistenza molto bassa e duttile non lineare a compressione e taglio, analogamente anche i blocchi hanno solitamente un comportamento elasto-fragile.

Per determinare la resistenza della malta è importante considerare non solo la composizione della malta ma anche il suo stato di conservazione.

La muratura presenta valori dei parametri meccanici intermedi tra quelli dei suoi componenti, la risposta a taglio è fortemente dipendente dall'attrito garantito dall'ingranamento che è funzione del corretto sfalsamento dei giunti e del rapporto tra la base e l'altezza degli elementi.

La presenza di carico verticale agente aumenta la resistenza della muratura nei confronti degli sforzi di taglio e trazione e quindi contribuisce alla resistenza ed alla dissipazione.

### **3.2.1 Tipologie, tessitura, disposizione dei corsi, ...**

Nella muratura solitamente i blocchi sono disposti in filari orizzontali e debitamente sfalsati nel piano verticale ciò dà luogo a giunti principali continui e giunti secondari discontinui, tale aspetto garantisce l'ingranamento.

Al fine di ottimizzare le caratteristiche della muratura sotto i carichi agenti verticali i blocchi si dispongono in modo da avere i giunti principali ortogonali alle sollecitazioni di compressione, nel caso in cui si generino sforzi di trazione o taglio (come sotto sisma) tali giunti risultano paralleli alle sollecitazioni agenti determinando potenziali piani di discontinuità, in questo caso è lo sforzo normale associato alle forze inerziali che generando attrito contribuisce alla resistenza ed alla dissipazione.

Esiste un rapporto biunivoco che unisce il periodo storico ed il luogo di costruzione di una struttura con la tipologia costruttiva in essa adottata.

Esistono abachi delle murature tipologiche delle diverse aree del paese, la Circolare n°617 nell'Appendice C8A, contiene un riferimento per le categorie più diffuse, in cui vengono indicati i valori minimi e massimi dei parametri a seguire:

- 1) Valore medio della resistenza a compressione:  $f_m$ ;
- 2) Valore medio della resistenza a taglio in assenza di sforzo assiale:  $\tau_0$ ;
- 3) Modulo di elasticità normale:  $E$ ;
- 4) Modulo di elasticità tangenziale:  $G$ ;
- 5) Peso per unità di volume:  $w$ .

I valori proposti dalla normativa sono relativi a murature aventi malta con scadenti caratteristiche, giunti non particolarmente sottili, in assenza di ricorsi o listature; con paramenti scollegati.

Se la muratura presenta caratteristiche migliori la medesima norma fornisce coefficienti migliorativi da applicare alle caratteristiche meccaniche.

Per poter identificare chiaramente la struttura della muratura e le sue caratteristiche meccaniche sarebbe necessario effettuare indagini che possono risultare piuttosto invasive; per quanto riguarda i beni tutelati e ogni qual volta è necessario preservare al più alto grado possibile l'integrità del manufatto è tuttavia consigliabile limitare allo stretto indispensabile le indagini invasive limitandole ad aree di sacrificio che non interessino stucchi, affreschi e decorazioni di pregio.

I campioni ricavati non hanno, quindi, valore di trattazione statistica rendendo necessario un più ampio processo conoscitivo che faccia ricorso ad abachi e ai dati disponibili per murature analoghe.

A tale scopo appare evidente l'importanza che riveste la creazione di database delle murature come già promosso anche dalle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

In tal senso si ritiene utile segnalare i database M.A.I.D.A. Masonry Analysis Interpretation Data Archive e gli abachi predisposti dalle Regioni italiane quali Umbria, Toscana ed Emilia- Romagna nonché la pubblicazione "Valutazione della qualità meccanica delle murature" di Carlo Baggio e Caterina Carocci<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Baggio C., Carocci C., *Valutazione della qualità meccanica delle murature*, in: A. Bernardini (a cura di), *La vulnerabilità sismica degli edifici. Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*, Roma, pp. 51-66, 2000

Si riportano a titolo di esempio alcune tipologie tratte dall' Abaco delle Tipologie Murarie predisposto dalla Regione Emilia- Romagna.



Figura 3-1\_ Murature in pietrame con elementi lavorati e perfettamente squadriati.



Figura 3-2\_ Murature in pietrame con elementi lavorati.



Figura 3-3\_ Muratura in pietra a spacco: elementi pseudo rettangolari e cuneiformi organizzati in ricorsi sub-orizzontali.



Figura 3-4\_ Muratura in pietra a spacco: elementi arrotondati.



Figura 3-5\_ Muratura in pietrame sbizzato con ricorsi di altezze differenti



Figura 3-6\_ Pietrame irregolare, ciottoli e pietre erratiche



Figura 3-7\_ Muratura mista disordinata



Figura 3-8\_ Muratura mista listata

### 3.2.2 Particolari costruttivi

La risposta sismica di una struttura non è influenzata solamente dal materiale che la costituisce ma anche dai collegamenti tra i diversi elementi strutturali.

Per determinare lo schema strutturale dell'edificio è necessario conoscere i dettagli costruttivi e le caratteristiche di collegamento dei diversi elementi.

La qualità dei collegamenti tra gli elementi verticali e tra gli stessi e gli orizzontamenti con particolare attenzione alla presenza dei cordoli di piano; la tipologia degli orizzontamenti con particolare riguardo alla rigidità nel loro piano, presenza e l'efficienza di architravi sopra le aperture, la presenza di elementi in grado di contrastare le spinte delle volte o altri elementi spingenti sono tutti aspetti rilevanti ai fini del modello strutturale.

### 3.2.3 Attività diagnostica

Per conoscere i parametri meccanici delle murature sono disponibili svariate tipologie di analisi.

L'attività diagnostica risulta un supporto fondamentale per la progettazione, poiché in particolar modo per quanto riguarda gli edifici storici che presentano elementi pittorici, scultorei e superfici affrescate risulta importante prestare cura a ridurre al minimo gli interventi distruttivi, è necessario farsi guidare dalla conoscenza storica del manufatto e dal rilievo per determinare il numero di prove necessario alla corretta caratterizzazione dei materiali ed i punti in cui poterle eseguire; si tende quindi a determinare un equilibrio in cui vengano eseguite un numero di prove congruo.

Un importante riferimento per la pianificazione dell'attività diagnostica è rappresentato dalle Linee Guida per modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili realizzato da Reluis, A.G.I., A.L.G.I., A.L.I.G..

La diagnostica architettonica ed edilizia si suddividono in:

- 1) Indagini distruttive;
- 2) Prove debolmente distruttive;
- 3) Indagini non distruttive.

Le indagini che prevedono il prelievo di campioni da analizzare in laboratorio possono risultare più o meno invasive in funzione della dimensione del materiale asportato, è possibile effettuarle sia sulla malta che sui blocchi e nel seguito vengono brevemente illustrate:

- 1) Per le malte è possibile eseguire:
  - a. Prove sclerometriche;
  - b. Prove penetrometriche;
  - c. Analisi chimiche;
- 2) Per i blocchi sono attuabili:
  - a. Prove meccaniche di compressione e flessione per la determinazione del modulo elastico e delle resistenza a compressione e trazione;
  - b. Prove di caratterizzazione litologica (per gli elementi lapidei).

Le prove in sito permettono la determinazione di diversi parametri:

- 1) Per la determinazione del modulo di elasticità normale e della resistenza a compressione è possibile ricorrere a prove debolmente distruttive come le prove con doppio martinetto piatto e a prove distruttive come le prove a compressione su un pannello murario;
- 2) Per valutare la resistenza ed il modulo elastico a taglio, le prove disponibili sono invasive e si articolano in prove di compressione diagonale e prove di compressione e taglio;
- 3) Per valutare la resistenza a compressione è possibile ricorrere a prove sclerometriche;
- 4) Per valutare lo stato tensionale della muratura è possibile utilizzare la prova con martinetto piatto.

Esistono, inoltre, prove dinamiche che comportano l'eccitazione a intervalli regolari della struttura secondo le due direzioni, che forniscono dati in relazione al periodo proprio della struttura.

Si possono effettuare misure di tensione sulle catene eventualmente presenti.

Poiché è necessario limitare il numero di prove allo scopo di preservare quanto più possibile il materiale che costituisce la fabbrica l'interpretazione delle prove va inserita in procedure nelle quali assume significato anche un solo dato sperimentale: l'identificazione delle caratteristiche meccaniche viene ottenuta anche tramite il ricorso ad analogie con murature simili in funzione dell'epoca di costruzione ed in relazione alle tecniche diffuse nel sito di costruzione.

Un riferimento è costituito dalle Tabelle proposte dalla Circolare Esplicativa delle NTC2008 n°617 e dall'Eurocodice 8.

Le indagini non distruttive, ovvero quelle che non impattano sul manufatto oggetto di studio, possono essere sostanzialmente ricondotte all'impiego di raggi infrarossi nelle indagini termografiche, di campi magnetici nelle indagini magnetometriche o metallografiche e di varie frequenze d'onda in quelle soniche e ultrasoniche; queste prove permettono di valutare l'omogeneità dei parametri meccanici ma non il valore dei parametri stessi.

Le prove soniche si basano sulla generazione di impulsi meccanici con frequenza nel campo del sonoro, l'elaborazione dei dati che consiste nel calcolo del tempo di trasmissione dell'onda che permette l'individuazione della velocità media di attraversamento della muratura da ciò è possibile individuare la presenza di cavità macroscopiche, fessure o porzioni di muratura non omogenee, sfruttando la proprietà delle onde di preferire mezzi a maggiore densità e deviare in presenza di discontinuità.

In funzione del tipo di muratura e soprattutto dell'accessibilità della stessa, è possibile svolgere tali indagini secondo diverse modalità:

- 1) Misura sonica di velocità diretta o in trasparenza;
- 2) Misura sonica di velocità indiretta o superficiale;
- 3) Misura sonica di velocità semidiretta o radiale;
- 4) Tomografia.

Si riporta l'immagine esemplificativa delle diverse modalità di esecuzione possibili tratta dalle Linee Guida.

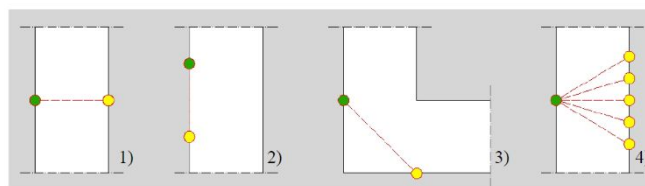


Figura 2. Procedure di svolgimento delle prove soniche: (1) diretta o in trasparenza; (2) indiretta o superficiale; (3) semidiretta o radiale; (4) tomografia

Le prove soniche dirette sono quelle che permettono l'ottenimento di dati maggiormente significativi poiché coinvolgono l'intera sezione muraria, si svolgono tramite l'emissione e la ricezione dell'onda elastica in punti corrispondenti situati sulle due facce contrapposte del paramento murario.

Le onde superficiali si realizzano, invece, posizionando emettitore e ricevitore sulla medesima faccia del paramento e coinvolgono solamente gli strati più superficiali della sezione muraria, si realizzano qualora non siano accessibili entrambi i lati della stessa.

Qualora sia possibile una tomografia posizionando più ricevitori sul lato opposto della sezione muraria rispetto a quello occupato dall'emettitore, è possibile combinare più acquisizioni soniche effettuando una mappatura delle velocità ottenute.

Le prove soniche, pur risultando adatte all'acquisizione di dati su murature storiche grazie alla scarsa invasività non permettono una valutazione quantitativa delle caratteristiche meccaniche della muratura a causa della mancanza di omogeneità e isotropia del materiale, è pertanto, necessario integrarle con prove semi distruttive puntuali per la calibrazione dei risultati ottenuti.

Analogamente alle prove soniche è possibile fare ricorso alle analisi termografiche che condividono con le stesse il pregio della non invasività, per ottenere una migliore calibrazione dei valori ottenuti è consigliabile posizionare sensori che permettono di individuare la temperatura superficiale del corpo permettendo una migliore calibrazione delle differenze di temperatura individuate.

Il prelievo dei campioni in sito come già evidenziato può essere più o meno invasivo, in generale, considerando le modeste quantità prelevate è possibile inserire i prelievi volti alla caratterizzazione delle malte tra questi ultimi; le indagini sulle malte sono finalizzate a definire la composizione e la tessitura degli impasti analizzandone i costituenti mineralogici sia dell'aggregato che del legante nonché la composizione granulometrica di quest'ultimo.

Le prove più diffuse sono le seguenti:

- 1) Osservazione allo stereomicroscopio su campioni che fornisce una valutazione macroscopica della morfologia della malta;
- 2) Studio petrografico al microscopio ottico polarizzatore per l'individuazione della composizione mineralogica;
- 3) Difrattometria ai raggi X (XRD) che consente la determinazione qualitativa e semi quantitativa delle principali fasi cristalline;
- 4) Setacciatura dell'aggregato che permette la determinazione del fuso granulometrico dell'aggregato.

Meno diffuse sono la spettrofotometria infrarossa che consente l'individuazione di sostanze organiche e inorganiche e l'osservazione al microscopio elettronico a scansione (SEM) per la determinazione dei materiali inorganici.

Per caratterizzare le malte è inoltre possibile effettuare una prova penetrometrica, da annoverare tra le tecniche di indagini debolmente distruttive, in tal caso una punta metallica normalizzata viene infissa nella malta mediante l'uso di uno sclerometro avente una carica predeterminata, solitamente si misura l'avanzamento dovuto ad un numero di colpi pari a 3, i valori ottenuti vengono correlati alla resistenza a compressione del materiale mediante apposite tabelle reperibili in letteratura.



Figura 9\_Immagine rappresentativa delle indagini svolte presso la ex sede della Banca d'Italia, Parma, dal Laboratorio LIFE

Le indagini debolmente distruttive comprendono l'uso di martinetti piatti singoli e doppi, l'uso del primo consente la valutazione dello stato tensionale locale presente nella muratura, il secondo della deformabilità e della resistenza del materiale in esame.

La prova con il martinetto piatto si svolge innanzitutto posizionando coppie di punti di riferimento simmetricamente disposti sui due lati contrapposti del taglio che si andrà ad eseguire, la distanza tra le coppie viene misurata prima del foro, si realizza quindi un taglio nella muratura ortogonale alla superficie della stessa solitamente mediante sega idraulica circolare che induce un rilascio della tensione verticale ed una variazione della distanza tra le coppie di punti prese a riferimento; successivamente nell'apertura viene inserito un martinetto piatto che collegato ad una pompa idraulica è in grado di fornire una pressione interna che viene fatta crescere fino ad annullare la variazione di distanza tra i punti indotta dal taglio creando una situazione in cui la pressione all'interno del martinetto è pari alla sollecitazione presente nella muratura prima della prova a meno di due costanti che tengono in conto l'una del rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio e l'altra della rigidità intrinseca del martinetto.

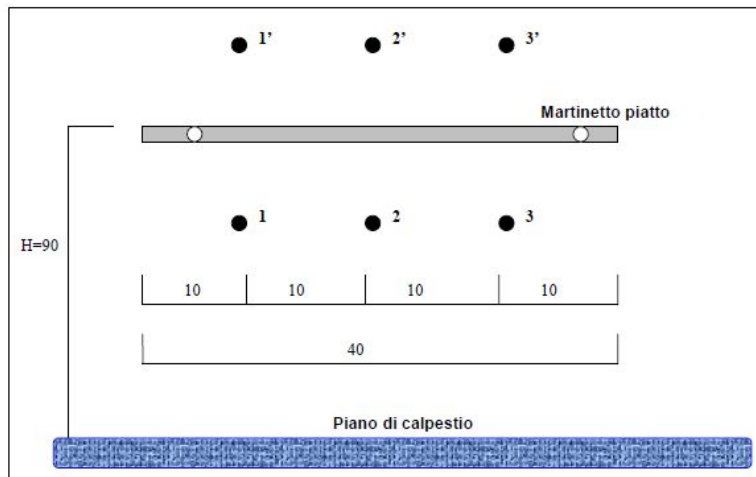


Fig.3 - Schema di prova martinetto singolo

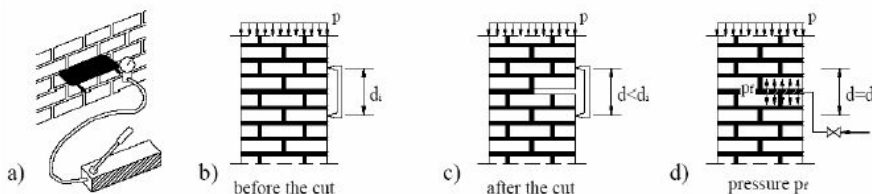


Fig.4.fasi della prova con martinetto singolo

Figura 10\_Immagine rappresentativa delle indagini svolte con martinetto piatto presso il Padiglione Morselli, Reggio Emilia dal Dott. Ing. Michela Cella della LGE

La prova con il martinetto doppio prevede un ulteriore taglio nella muratura delimitano un campione della stessa sul quale, una volta messi in pressione i martinetti viene indotto uno stato di tensione monoassiale, i sensori di spostamento misurano in direzione ortogonale e parallela ai piani di inserimento dei martinetti permettendo di determinare il diagramma tensione deformazione della muratura oggetto di analisi.

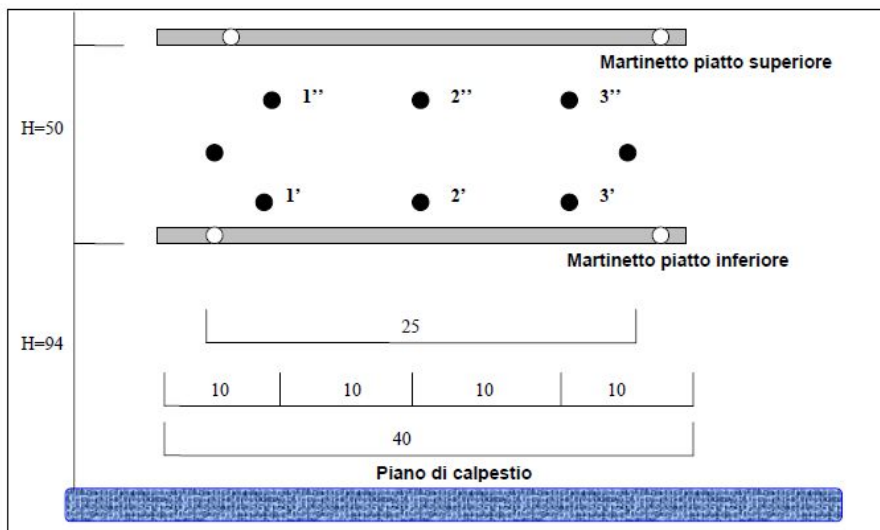


Fig.6 – Schema di prova martinetto doppio

Figura 11\_Immagine rappresentativa delle indagini svolte con martinetto doppio presso il Padiglione Morselli, Reggio Emilia dal Dott. Ing. Michela Cela della LGE



Figura 12\_Campagna di indagini con martinetti singoli svolte presso la Ex sede della Banca d'Italia, Parma



Figura 13\_Campagna di indagini con martinetti doppi svolte presso il Padiglione Morselli, Reggio Emilia

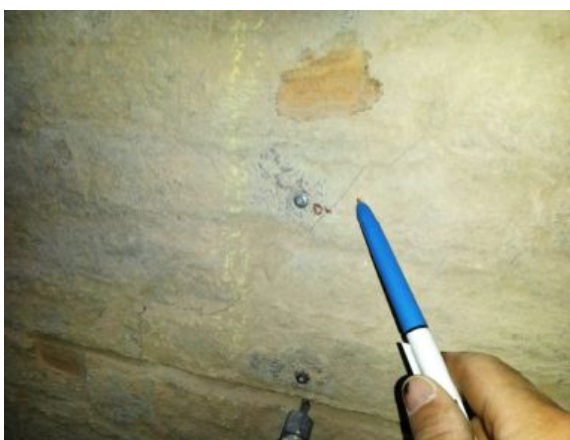


Figura 14\_Campagna di indagini con indicazione della formazione di fessurazioni svolte presso la Ex sede della Banca d'Italia, Parma

È inoltre possibile effettuare una valutazione della tensione di taglio media agente sulla superficie di scorrimento mediante prove di taglio in situ con uso di martinetto oleodinamico spingente, in questo caso viene realizzata un'apertura in cui inserire il martinetto e la scarificazione della malta sul lato opposto del laterizio cui viene applicata la forza indotta dallo strumento in modo che possa realizzarsi uno scorrimento, si installa, inoltre, una base di misura deformometrica millesimale.

Al mattone viene applicata tramite il martinetto una forza tale da indurre il suo scorrimento evidenziato mediante lo spostamento dei punti presi a riferimento inizialmente giacenti su un'unica retta.



Figura 15\_Prova di taglio in situ svolte presso la Ex sede della Banca d'Italia, Parma



Figura 16\_Prova di taglio in situ svolte presso la Ex sede della Banca d'Italia, Parma

Ulteriori indagini possibili riguardano la realizzazione di carotaggi che consentono il prelievo di materiale da sottoporre a prove di laboratorio ed eventuali indagini endoscopiche nel varco creato al fine di identificare i componenti, la loro morfologia nonché la tessitura.

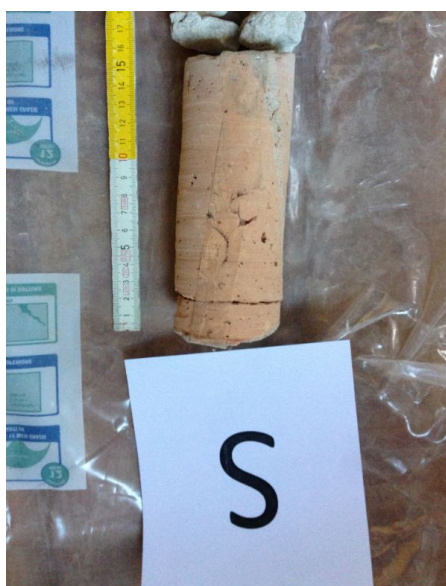


Figura 3-17\_Saggi volta Sala Verdi, Conservatorio di Musica A. Boito, Parma

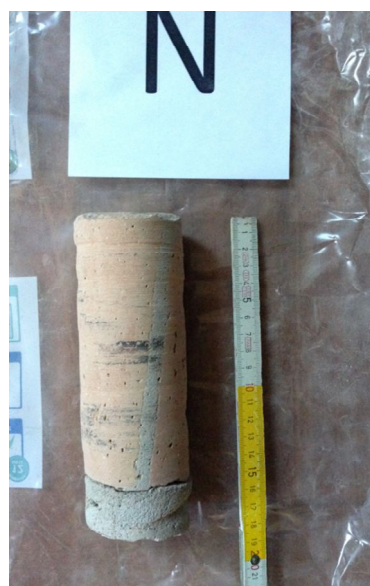


Figura 3-18\_Saggi volta Sala Verdi, Conservatorio di Musica A. Boito, Parma



Figura 19\_Saggio di muratura in mattoni pieni e malta di calce ed ingrandimento della malta con clasti interclusi ottenuto durante la campagna di indagini svolte presso il Padiglione Morselli, Reggio Emilia

Qualora l'edificio sia piuttosto complesso e frutto di stratificazioni e le indagini storico archivistiche non abbiano permesso l'identificazione degli elementi strutturali e i loro rapporti con particolare riguardo alla determinazione del grado di ammassamento tra i paramenti e tra murature e solai, può essere necessario ricorrere all'asportazione degli strati di finitura, chiaramente da realizzarsi in luoghi meno in vista possibile ed in assenza di elementi di pregio architettonico.



Figura 20\_Saggi sui solai volti all'identificazione della tipologia del solaio e delle armature presenti ottenuti durante la campagna di indagini svolta presso l'Ospedale di Mirandola, Corpo 02



Figura 21\_Saggi sui solai volti all'identificazione della tipologia dei paramenti murari resistenti svolta presso l'Ospedale di Mirandola, Corpo 02



Figura 22\_Saggi sui solai volti all'identificazione della tipologia dei paramenti murari resistenti svolta presso ex sede Banca d'Italia, Parma

Qualora sia necessario limitare l'invasività delle indagini una tecnica che permette di effettuare un'ispezione visiva già a partire da fori di 20mm di diametro è l'endoscopia che consiste nell'inserimento di una piccola sonda direttamente all'interno dell'oggetto indagato, è possibile registrare fotogrammi e video durante l'indagine.

La fase diagnostica è di vitale importanza per la verifica delle ipotesi introdotte nelle diverse modellazioni possibili delle strutture, spesso tuttavia si trascura di tradurla in un concreto elemento di supporto creando una cesura nel necessario flusso di informazioni volte a conseguire una maggiore correttezza dell'analisi dello stato di vulnerabilità delle strutture.

Data l'importanza che tale fase riveste ed i costi che essa comporta è necessario un'adeguata pianificazione dell'attività diagnostica legata da una parte alla massimizzazione della conoscenza e dall'altra alla minimizzazione dell'impatto che essa comporta, già grazie alla fase di indagine documentale è possibile identificare le diverse fasi costruttive e da lì ipotizzare in base alle tecniche costruttive diffuse nel dato periodo nel sito di costruzioni quali possano essere i materiali impiegati, tale ipotesi devono essere verificate in fase diagnostica, dovendo, quindi, considerare un numero di indagini sufficientemente ampio senza tuttavia risultare dispersivo.

È necessario identificare mediante la redazione di un'indagine metodologica quali sono gli obiettivi soprattutto in termini di livello di conoscenza da perseguire in accordo con la committenza e le modalità di conseguimento degli stessi, nel seguito si propone uno schema che può costituire un utile riferimento alla fase di pianificazione:

- 1) Identificazione della struttura e del contesto con indicazione dei rapporti edificio- intorno,
- 2) Identificazione fasi costruttive e datazione delle stesse
- 3) Reperimento dati per analogia su edifici coevi con caratteristiche simili con riferimento ai materiali impiegati ed alle tecniche costruttive;
- 4) Pianificazione della campagna di indagini volta a:

- a. Identificazione elementi resistenti, identificazione dei materiali, stato di conservazione, degradi, lesioni e dei rapporti tra loro intercorrenti (ammorsature, dettagli costruttivi);
- b. Identificazione elementi non strutturali ed interazioni degli stessi con le strutture;
- c. Vulnerabilità non quantificabili.

In particolare oltre alle caratteristiche meccaniche della muratura che già forniscono un buon riferimento per determinare il grado di esposizione dei confronti della disgregazione del paramento è necessario valutare la presenza di elementi di vulnerabilità legati ai meccanismi locali; poiché tali fenomeni sono impediti dal buon ammorsamento dei paramenti, dalla presenza di solai in grado di incatenare le murature cui sono collegati e necessario indagare con maggiore attenzione proprio questi aspetti che sono risultati essere così come nella realtà anche nei modelli di calcolo gli aspetti che determinano una maggiore fluttuazione dei valori ottenuti e dell'indice di valutazione della sicurezza ottenuto.

### 3.2.4 La regola dell'arte

La capacità di costruire con questo materiale risale alla notte dei tempi ed è frutto di infiniti esperimenti che terminavano con esiti alterni, solo i successi venivano mantenuti e riproposti in una sorta di tradizione orale tramandata di generazione in generazione.

Nonostante il ricorso alla regola<sup>18</sup> sia quindi millenario, il primo tentativo di organizzare le conoscenze via via acquisite si ha intorno al XIX secolo ad opera di Navier<sup>19</sup>, Rondelet<sup>20</sup> e Viollet-le-Duc<sup>21</sup>.

L'avvento dei nuovi materiali quali ferro e cemento nei quali si vedevano potenzialità superiori rispetto alla muratura spostò su di essi gli sforzi della comunità scientifica relegando di fatto in secondo piano lo studio della muratura; solo negli anni '70 del Novecento ad opera di Tomaževič<sup>22</sup> che il mondo accademico tornò ad interessarsi del comportamento delle strutture in muratura.

Le strutture storiche non sono state progettate seguendo i principi della scienza e della tecnica delle costruzioni, facendo ricorso alla meccanica dei materiali e delle strutture, semplicemente perché spesso non ancora nate, ma su basi empiriche, è la sensibilità, l'esperienza e lo spirito di osservazione del progettista nei riguardi delle costruzioni già realizzate che lo spingono nell'elaborazione del manufatto.

L'affinamento dei criteri esecutivi e di proporzionamento geometrico ha dato alla luce un sistema di regole basate sulle consuetudini tramandate tra le generazioni noto come "regola dell'arte".

---

<sup>18</sup> Si veda il monito "Non entri chi non conosce la geometria", Platone, iscrizione dell'Accademia di Atene

<sup>19</sup> Navier C.L., *Resume des leçons d'architecture données à l'École Royale Polytechnique*, Paris, 1802-1805, trad. it. *Lesioni di Architettura* a cura di E. D'Alfonso, Milano, CLUP, 1986

<sup>20</sup> J. B: Rondelet, *Memoire historique sur le Dome du Panthéon français*, Paris, Chez du Pont Imprimeur-libraire, 1797

<sup>21</sup> E.E. Viollet-le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle*, Paris, 1865, trad. it. *L'architettura ragionata* a cura di M. A. Crippa, Milano, Jaca Book, 1982

E.E. Viollet-le-Duc, *Entretiens sur l'architecture*, Paris, Morel, 1863-1872

L'approccio non può definirsi scientificamente rigoroso, e assume valenza solo all'interno dei limiti della regola stessa come reso manifesto dai crolli degli edifici progettati al di fuori delle consuetudini geometriche ma poter riconoscere all'interno del manufatto il ricorso a tale strumento è un primo valido parametro nel percorso sulla valutazione della sua sicurezza.

La regola dell'arte non è univoca muta al variare geografico e delle epoche, ha un carattere fortemente localistico e nasce dall'affinamento dell'utilizzo dei materiali reperibili in zona che da, a sua volta, luogo ad una grande varietà di tipologie murarie.

La capacità dei carpentieri e le possibilità economiche del committente sono ulteriori fattori che, insieme alla già menzionata disponibilità dei materiali locali, hanno influenzato le tipologie realizzative delle strutture storiche.

Un fil rouge unisce questa eterogeneità ovvero il perseguimento di obiettivi quali la durabilità e l'efficienza costruttiva della muratura nel tempo.

L'organizzazione del paramento ed il corretto dimensionamento delle strutture ancorché basato su regole geometriche, sono requisiti fondamentali per poter dire che il paramento è stato realizzato secondo la "regola dell'arte", d'altra parte "...riconoscere in una costruzione la conformità alle regole dell'arte può costituire un primo elemento di valutazione della sicurezza..."<sup>23</sup>.

Dal punto di vista storico<sup>24</sup> si può fare riferimento all'opera dei trattatisti per ricercare spunti della regola dell'arte seppur in considerazione del fatto che essi abbiano potuto effettuare una selezione delle murature da studiare facendo riferimento ad una tradizione alta escludendo quelle più povere spesso di origine rurale.

Il primo trattatista cui fare riferimento è senz'altro Vitruvio<sup>25</sup>, i suoi scritti ci sono purtroppo pervenuti privi di immagini aspetto che ne complica la consultazione, ma sono tuttavia ottime fonti per le descrizioni delle tecniche costruttive più diffuse di epoca romana alla fine del I secolo a. C che l'autore cita nel libro II, capitolo VIII che si riportano brevemente nel seguito:

- 1) Opus quadratum (opera quadrata): muratura a corsi regolari di grossi blocchi squadrati solitamente di tufo, che inizialmente venivano disposti a secco semplicemente sfalsando i giunti mentre in un periodo successivo potevano essere collegati da staffe di ferro fissate con piombo fuso alterando disposizioni di taglio e di testa per incrementarne l'ingranamento; talvolta la locuzione opus quadratum indica anche strutture in cemento in cui l'opera risulta essere solamente la finitura;
- 2) Opus siliceum o opus poligonalis: (opera poligonale) nota anche come struttura ciclopica o poligonale, si tratta di una muratura formata da pietre dure e pertanto difficilmente lavorabili posate a secco;

---

<sup>23</sup> DPCM 09/02/2011- "Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale"-Paragrafo 5.1, op.cit.

<sup>24</sup> Si veda a tal fine Baila A., Donà C., *La regola dell'arte muraria nei trattati storici*, Ponte. Mensile di Progettazione, Gestione e Tecnica per Costruire, n°4, anno 2011, pp. 45-59

<sup>25</sup> M. Vitruvio Pollione, *De Architectura*, I sec. A. C., trad. it. A cura di S. Ferri, Milano, RCS libi s.p.a., 2002

- 3) Opus caementicium (opera cementizia): si tratta di un materiale ottenuto dalla miscelazione di frammenti di pietra, solitamente tufo e malta di calce e sabbia, l'opera cementizia poteva essere ricoperta, ricoperta con intonaco o lasciata a vista
- 4) Opus craticium (opera a graticcio) è una muratura costituita da un telaio portante in legno tamponato da elementi in cotto o da un impasto di paglia e argilla assieme alle murature povere in terra cruda è di immediata realizzazione ma scarsa durabilità.
- 5) Opus quadratum, già descritto in precedenza può assumere anche funzione di mera finitura;
- 6) Opus incertum è un tipo di finitura in cui le pietre hanno forma e disposizione irregolari e con l'asola faccia esterna levigata;
- 7) Opus reticulatum (opera reticolata) viene utilizzata a partire dall'inizio del I secolo a. C. è formato da tufelli (detti cubilia) di ridotte dimensioni inclinati a 45° rispetto all'orizzontale, i tufelli non sono altro che pezzi di pietra, solitamente tufo, a forma di piramide a base quadrata tronca, proprio la cima viene infissa nel cemento ancora fresco lasciando all'esterno la superficie levigata piana, l'opera poteva essere intonacata o decorata da stucchi;
- 8) Opus testaceum e opus latericium, sono tecniche in cui la finitura si realizza mediante mattoni cotti in fornace nel primo caso, al sole nel secondo caso, i mattoni possono avere dimensioni diverse due, quattro e cinque palmi (circa 7.5cm) chiamati rispettivamente didoron, tetradoron e pentadoron, ogni misura era accompagnata da mattoni lunghi la metà per poterli agevolmente sfalsare per accrescere la solidità del muro, i mattoni potevano assumere forma triangolare per massimizzare la presa tra lo strato di finitura ed il nucleo, il laterizio poteva quindi essere intonaco o ricoperto ulteriormente con marmi e stucchi;
- 9) Opus mixtum (opera mista) si tratta di un perfezionamento dell'opera reticolata, a partire dall'epoca Augustea si alternano al opus reticulatum fasce orizzontali di mattoni, all'epoca Flavia vi è un ulteriore step che consiste nell'utilizzo di ammorsature laterali in mattoni;
- 10) Opus vittatum (opera listata), si riporta per completezza anche se non viene descritta da Vitruvio poiché si diffonde a partire dalla fine del II secolo d. C., i paramenti esterni che proteggono il nucleo cementizio sono formati da tufelli (blocchetti di tufo) di forma parallelepipedica alternati a corsi di mattoni; si ricorre all'uso del mattone ogni qual volta è necessario irrobustire la struttura come nel caso della realizzazione di aperture.

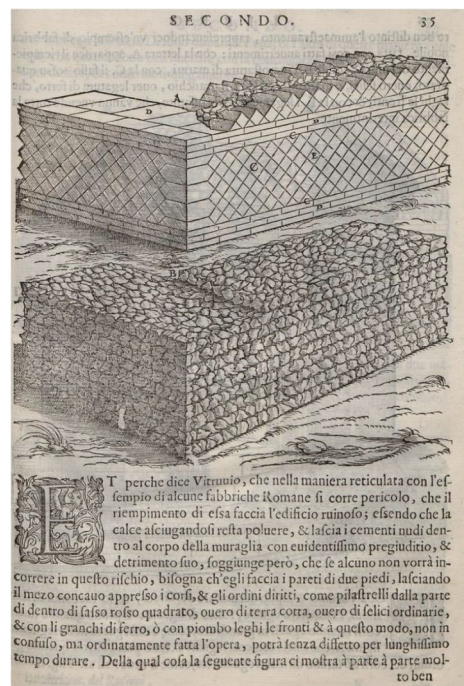
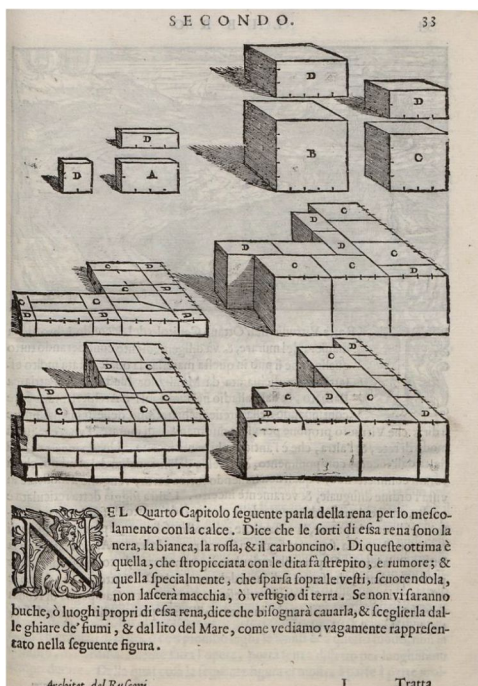
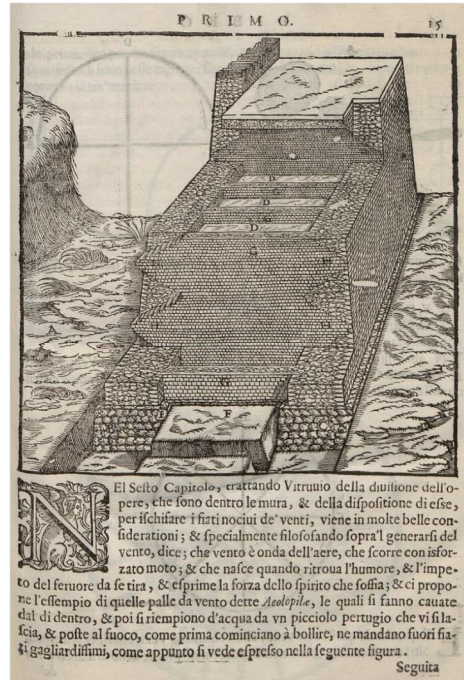
Vitruvio descrive, inoltre, delle tecniche costruttive utilizzate dai Greci ovvero:

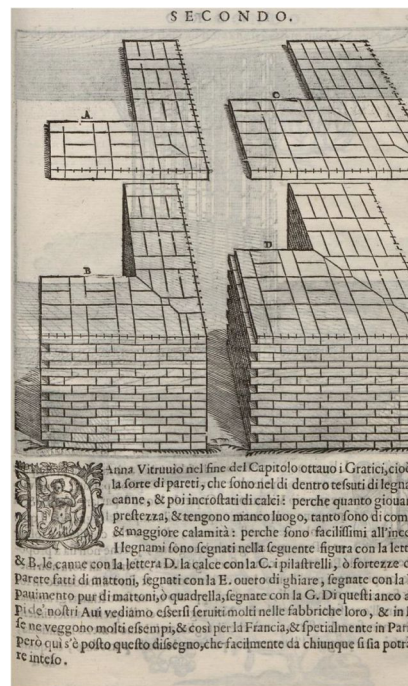
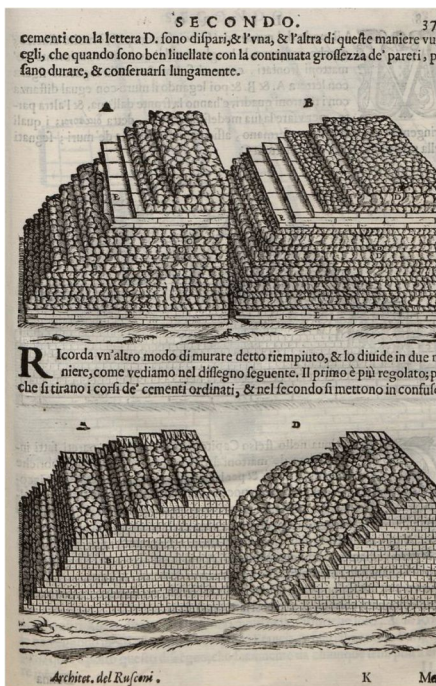
- 1) Opus isodomum (opera isodoma): formazione di corsi regolari aventi tutti medesima altezza;
- 2) Opus pseudo-isodomum (opera pseudo-isodoma): creazione di corsi regolari ma di altezza diverse tra loro;
- 3) Emplekton (muratura a sacco), vengono realizzati due paramenti murari all'interno delle quali può essere disposto un misto di terra e pietre irregolari tenute insieme dalla malta, talvolta i mattoni che formano i paramenti sono disposti con il lato corto in vista in modo di ammorsare il lato lungo all'interno del riempimento.

Seguendo i passi dei trattatisti si giunge a Leon Battista Alberti che nel '400 riprende l'opera vitruviana e la sintetizza riducendo a tre le tipologie fondamentali in uso presso gli antichi:

- 1) Muratura ordinaria in pietre squadrate;
- 2) Struttura reticolata in pietre squadrate di dimensioni limitate che presentano verso l'esterno la superficie piana e levigata;
- 3) Struttura incerta;

la scelta della tipologia muraria dipende dalla funzione che la muratura è chiamata ad assolvere





L'analisi proposta da Palladio ne "I quattro libri dell'architettura"<sup>26</sup> viene ripresa ed ampliata da Vincenzo Scamozzi nel suo trattato "L'idea dell'architettura universale"<sup>27</sup>, classificando le murature in funzione della del popolo che ne ha determinato la paternità (suddivisione delle murature utilizzate dai Greci rispetto a quelle utilizzate dai Romani), ed in funzione del periodo storico e del luogo di diffusione distinguendo tra quelle storiche e quelle moderne, di origine italiana e di origine straniera; si riportano immagini tratte dal trattato di Scamozzi.

<sup>26</sup> A. Palladio, I quattro libri dell' Architettura, Venezia, 1570, Libro I, ristampa a cura di M. Biraghi, Pordenone, 1992

<sup>27</sup> V. Scamozzi V., La idea dell'architettura universale, 1615, Venezia

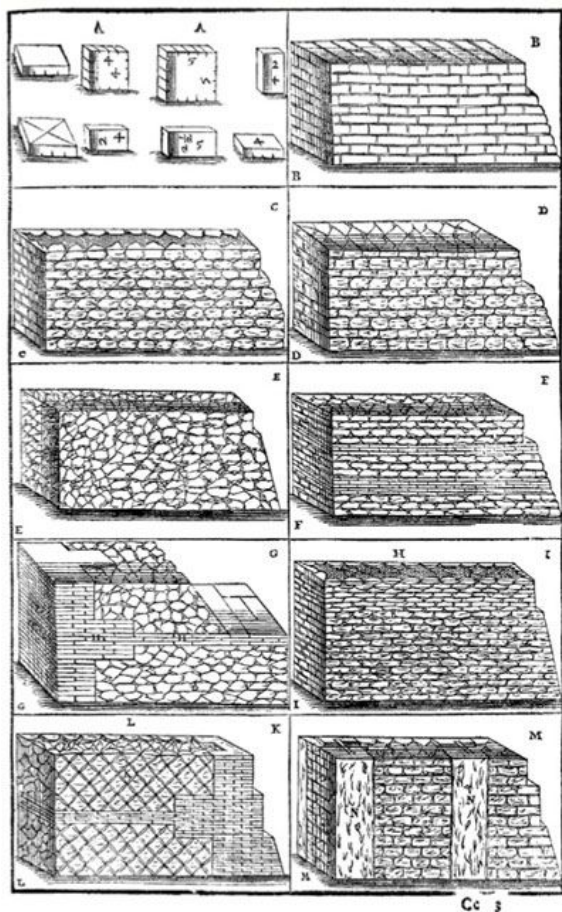


Figura 3-23\_Tavola estrapolata dal trattato di Scamozzi che illustra le principali murature utilizzate da Greci e Romani, Parte II, Libro VIII, Cap. VIII, p. 299

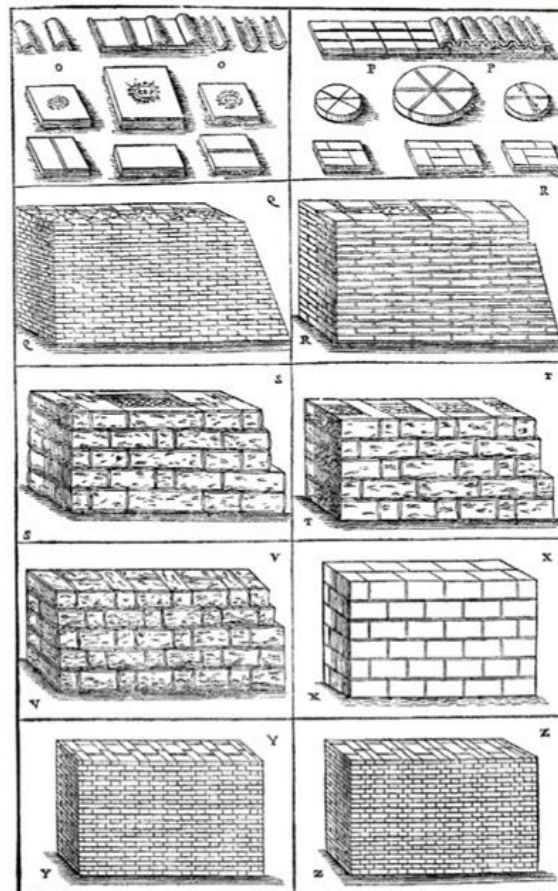
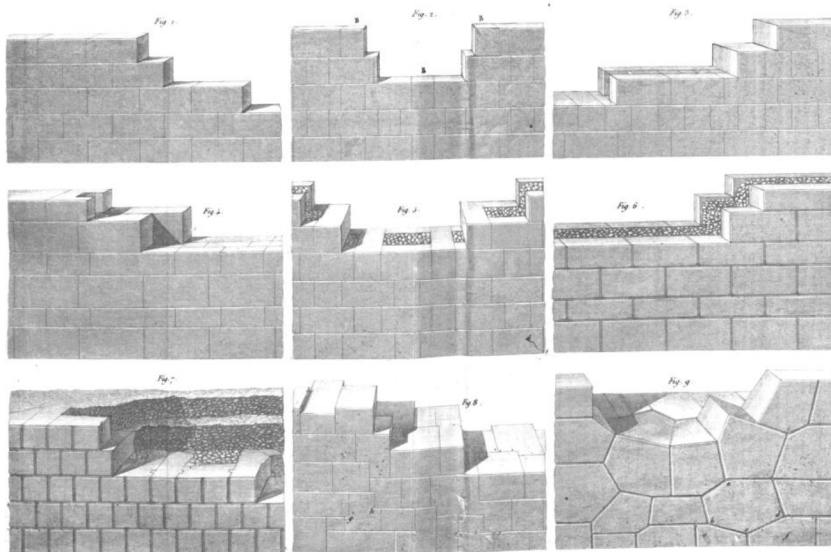


Figura 3-24\_Tavola estrapolata dal trattato di Scamozzi che illustra le principali murature antiche e moderne, Parte II, Libro VIII, Cap. VIII, p. 302

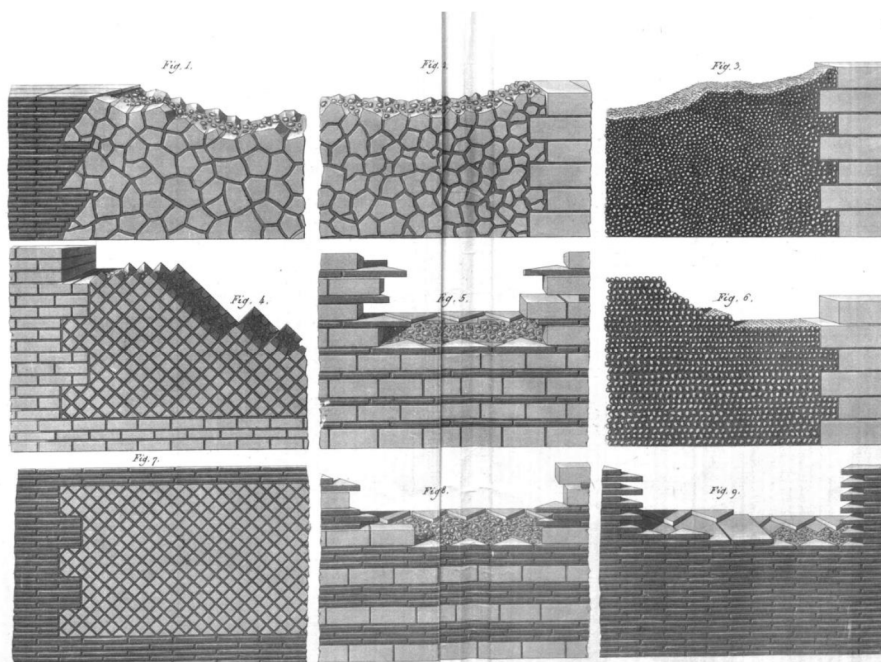
Nel 1802 in Francia Rondelet pubblica "Traité théorique et pratique de l'art de bâtir"<sup>28</sup>, tradotto in italiano tra il 1831-1835 nel quale riprende la trattazione vitruviana e la arricchisce di osservazioni sulla qualità e durabilità delle diverse tipologie murarie; si riportano immagini tratte dal trattato di Rondelet.

<sup>28</sup> J. B. Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris, 1817, I trad. it. Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare, a cura di B. Soresina, Mantova, Tip. Caranenti, 1831-1835

Tav. X



Tav. LXI.



Valadier<sup>29</sup> pubblica a Roma tra il 1828 ed il 1833 il trattato "L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di San Luca" in cui descrive non più solo le tecniche costruttive alte come i suoi predecessori ma anche quelle economiche basate sull'utilizzo di materiale reperibile in loco spaziando da quelle usate nell'antichità a quelle in uso in epoca moderna.

<sup>29</sup> Valadier G., 1831-32, *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di San Luca*, Roma  
Pag. 72 di 419

Suddivide le murature in:

- 1) Muri di ciottoli rinforzati da listature e bordature in pietra e mattoni;
- 2) Muri di pietrame irregolari e sbozzati;
- 3) Muri misti formati da pietrame irregolare intervallato da corsi di mattoni.

Nicola Cavalieri di San Bertolo pubblica nel 1826-1827 il suo trattato "Istituzioni di Architettura Statica e Idraulica<sup>30</sup>", che studia e classifica le murature indipendentemente da Vitruvio focalizzato sull'analisi delle murature contemporanee alla luce della Scienza delle Costruzioni, impostazione che viene mantenuta da Giovanni Curioni nel 1864 ne "L'arte di fabbricare. Corso completo di istituzioni teorico-pratiche per gli ingegneri, per gli architetti, pei periti in costruzione e pei periti muratori".

Nella seconda metà dell'800 Breyman pubblica il "Trattato generale di Costruzioni Civili con cenni speciali intorno alle costruzioni grandiose<sup>31</sup>" in cui classifica le strutture murarie in base alla finalità, alla loro posizione all'interno della struttura edilizia ed in base al materiale con cui sono realizzati in:

- 1) Muri n pietre artificiali;
- 2) Muri di pietre naturali;
- 3) Muri di materiali gettati o agglomerati;
- 4) Muri a struttura mista composti sia di pietre artificiali, sia di pietre naturali, sia di agglomerati.

Nel corso del '900 Donghi pubblica il "Manuale dell'Architetto"<sup>32</sup> che "aggiorna" i precedenti trattati inserendo nuove tecnologie nate nel secolo breve e considerando anche murature più economiche rispetto a quelle considerate nei precedenti trattati, la suddivisione delle tipologie murarie e la seguente:

- 1) Muratura di pietre naturali;
- 2) Muratura di laterizi, pietre o altri materiali artificiali;
- 3) Murature in masse battute o di getto.

Le murature proposte sono diversificate in funzione dei materiali costituenti così suddivisi:

- 1) Pietre naturali;
- 2) Laterizi;
- 3) Materiali cementati con aggiunta di materiali ausiliari quali calce, cemento, gesso, sabbia, ghiaia, ...
- 4) Materiali cementati quali calcestruzzo, pietre artificiali, ...
- 5) Materiali diversi

Dopo gli anni '30 si perde l'attenzione verso le murature che vengono soppiantate dai nuovi materiali, solo a partire dagli anni'70 se ne riscopre l'importanza.

---

<sup>30</sup> N. Cavalieri San Bertolo, Istituzioni di architettura statica e idraulica, Tipografia Cardibali e Frulli, Bologna, 1826-27

<sup>31</sup> G. A. Breyman, Trattato generale di Costruzioni Civili con cenni speciali intorno alle costruzioni grandiose, Vallardi, Milano, 1926-31

<sup>32</sup> D. Donghi, (a cura di), Manuale dell'architetto, Unione Tipografica Editrice Torinese, Torino, 1923

### 3.2.5 Aspetti strutturali della muratura

La muratura si può definire come un materiale con resistenza a compressione maggiore di quella a trazione.

La resistenza a trazione può manifestarsi anche come una resistenza correlata al fenomeno dell'attrito, tale resistenza risulta fondamentale per l'integrità delle croci di muro ed è anche la responsabile della diffusione delle sollecitazioni nelle masse murarie.

Cautelativamente in alcune verifiche di resistenza si prescinde dalla resistenza a trazione.

Dal punto di vista meccanico la muratura è un materiale anisotropo, disomogeneo e anelastico, da ciò discendono le difficoltà nella modellazione di questo materiale.

Normalmente si fa riferimento ad un materiale omogeneo equivalente dal quale si può ricavare il legame costitutivo mediante prove di compressione monoassiale.

La curva tipica assume un andamento quantitativo in cui è possibile riconoscere una debole resistenza a trazione con rottura fragile ed un andamento crescente in modo non lineare fino al raggiungimento della massima sollecitazione ed un successivo ramo discendente fino al raggiungimento di una assegnata riduzione della sollecitazione massima.

La curva ottenuta viene schematizzata con una bilatera elasto- plastica equivalente che consente la definizione di un modulo di elasticità secante.

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche delle strutture esistenti, la normativa italiana propone i valori di riferimento contenuti nell'appendice C8A della circolare esplicativa n°617 all'interno della quale si trovano, in funzione delle diverse categorie di murature storiche, i valori dei parametri meccanici quali il valore medio della resistenza a compressione, il valore medio della resistenza a taglio in assenza di sforzo assiale, il modulo di elasticità normale e tangenziale ed il peso per unità di volume.

Per ognuno dei parametri precedenti vengono forniti ranges di valori la cui assunzione dipende dal livello di conoscenza acquisito.

## **4 IL PERCORSO DELLA CONOSCENZA CON NOTE PER I BENI CULTURALI**

---

Il monumento è il primo documento di se' stesso

Giovanni Carbonara<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> G. Carbonara, *Presentazione* in D. Fiorani, *Tecniche costruttive murarie medievali- Il Lazio meridionale*, "L'erma" di Bretschneider, 1996, Roma p. 4

## IL PERCORSO DELLA CONOSCENZA CON NOTE PER I BENI CULTURALI

La normativa vigente risulta premiale nei confronti della conoscenza della struttura.

Una maggior conoscenza della struttura si esprime mediante la possibilità di fare riferimento ad un livello di conoscenza superiore, tale parametro, che varia su una scala formata da tre livelli: LV1, LV2, LV3, è inversamente proporzionale al fattore di confidenza FC che agisce come un coefficiente amplificativo del fattore di sicurezza che riduce i valori dei parametri meccanici della muratura.

Intervenire sull'esistente, a differenza di quanto accade per i progetti di nuova edificazione, è caratterizzato dalla propedeutica fase conoscitiva; tale fase, che può essere assimilata alla fase di anamnesi in campo medico, deve comprendere:

- 1) Identificazione della costruzione e localizzazione in funzione di particolari aree di rischio, analisi delle relazioni tra l'edificio ed il contesto e rilevazione della presenza di particolari elementi di pregio che possono essere influenti sulla definizione del livello di rischio;
- 2) Ricerca storico-archivistica, che possa costituire una guida per determinare la configurazione originaria del bene, gli interventi successivi cui è stato sottoposto, le modifiche che si sono susseguite nel tempo e ne hanno determinato la configurazione attuale;
- 3) Rilievo geometrico inteso come completa descrizione stereometrica della fabbrica;
- 4) Rilievo degli elementi costituenti l'organismo resistente in modo da comprendere chiaramente lo schema strutturale dell'edificio ed il suo funzionamento, con attenzione alle tecniche di realizzazione, ai dettagli costruttivi ed alla connessione tra gli elementi;
- 5) Rilievo materico con identificazione dei degradi che li interessano e definizione delle caratteristiche meccaniche degli stessi;
- 6) Rilievo del quadro fessurativo e deformativo con identificazione dei meccanismi in atto e delle cause che li hanno determinati;
- 7) Conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione con particolare attenzione alle modifiche che le hanno interessate ed ai dissesti.

Per i beni culturali, la fase precedentemente descritta, che si sostanzia nella conoscenza delle caratteristiche originarie della fabbrica, delle modifiche che si sono susseguite nel tempo, dei fenomeni di danneggiamento derivanti tanto dalle azioni antropiche quanto dalle azioni esterne calamitose che dal deteriorarsi del materiale delle costruzioni esistenti, rappresenta il presupposto fondamentale propedeutico per le fasi successive di valutazione della sicurezza e la pianificazione degli interventi volti alla conservazione del bene, occorre, tuttavia, deve tenere in conto la necessità di preservare da perdite irreparabili i materiali che costituiscono la struttura: l'esecuzione della campagna diagnostica dovrà evitare di danneggiare irreparabilmente l'edificio o porzioni di esso preferendo indagini poco invasive.

Proprio per tenere in conto la specificità del costruito storico la conoscenza del manufatto può essere acquisita con un diverso grado di approfondimento cui consegue un diverso grado di attendibilità del modello strutturale: il livello di conoscenza diviene, quindi, lo specchio dell'accuratezza della fase di ricerca storica e delle indagini sperimentali.

Le incertezze in gioco sono legate sia alla conoscenza delle caratteristiche del materiale strutturale, sia alla geometria dell'edificio, degli elementi strutturali e delle loro connessioni ed al grado di approfondimento delle indagini sono convenzionalmente applicate penalizzando la resistenza del materiale.

Il ricorso a modelli interpretativi a posteriori calibrati in funzione dei dissesti rilevati, permettono di superare le tematiche legate all'invasività ed ai costi delle indagini, si assumono come riferimento abachi delle lesioni che permettono di regredire alla determinazione delle proprietà meccaniche e del degrado delle connessioni fra i diversi elementi strutturali (si vedano gli abachi dei meccanismi locali).

### **1) Localizzazione della costruzione, rilievo preliminare**

Il primo step riguarda l'identificazione dei rischi cui la fabbrica è soggetta in funzione della propria posizione all'interno del territorio, delle relazioni che la legano all'intorno, e del rischio che si ritiene accettabile per la stessa in funzione degli elementi di pregio da preservare.

Poiché spesso i beni storici non sorgono isolati ma fanno parte di un complesso sistema quali sono i centri storici il rischio che li interessa è determinato non solo dal sito in cui sorge ma dai rapporti che si instaurano con l'intorno; le fasi che permettono di definire tale rapporto sono le seguenti ordinate secondo una scala via via più di dettaglio:

- 1) Identificazione del Complesso Architettonico (CA) inteso come aggregazione di più corpi di fabbrica delimitato da strade;
- 2) Identificazione dei rapporti che intercorrono tra il Complesso Architettonico e l'intorno:
  - a. Isolato;
  - b. Non isolato;
- 3) Identificazione dei Corpi di Fabbrica (CF) costituenti il Complesso Architettonico:
  - a. Analisi dei rapporti spaziali e funzionali tra l'edificio in esame e le strutture contermini con identificazione della gerarchia costruttiva

### **2) Analisi dell'evoluzione della fabbrica**

Al fine di individuare quali trasformazioni ha subito la fabbrica nella sua storia è necessaria una fase di ricerca archivistica: l'obiettivo è quello di cogliere le modifiche che la hanno interessate, le motivazioni in particolar modo se legate a degradi riscontrati o a sismi subiti; le destinazioni d'uso che ha ospitato nel tempo; ciò contribuisce a cogliere la "vocazione" dell'edificio, le sue criticità ed i carichi che la hanno interessata.

La storia dell'edificio può, inoltre, essere rivelatrice del comportamento assunto dall'edificio in occasione dei terremoti che lo hanno interessato.

Se in occasione dei sisma l'edificio è stato danneggiato, è importante conoscere gli interventi di consolidamento cui è stato sottoposto, gli elementi che ne sono stati interessati, il periodo di realizzazione e la loro efficacia nel tempo.

In particolare è utile ricostruire non solo gli interventi più recenti di cui esistono nella maggior parte dei casi riscontri documentali ed immagini ma

Nel seguito si riporta un esempio di indagine storico documentale effettuata in occasione dell'intervento di rifunzionalizzazione del fabbricato dell'ex sede della Banca d'Italia, Parma.

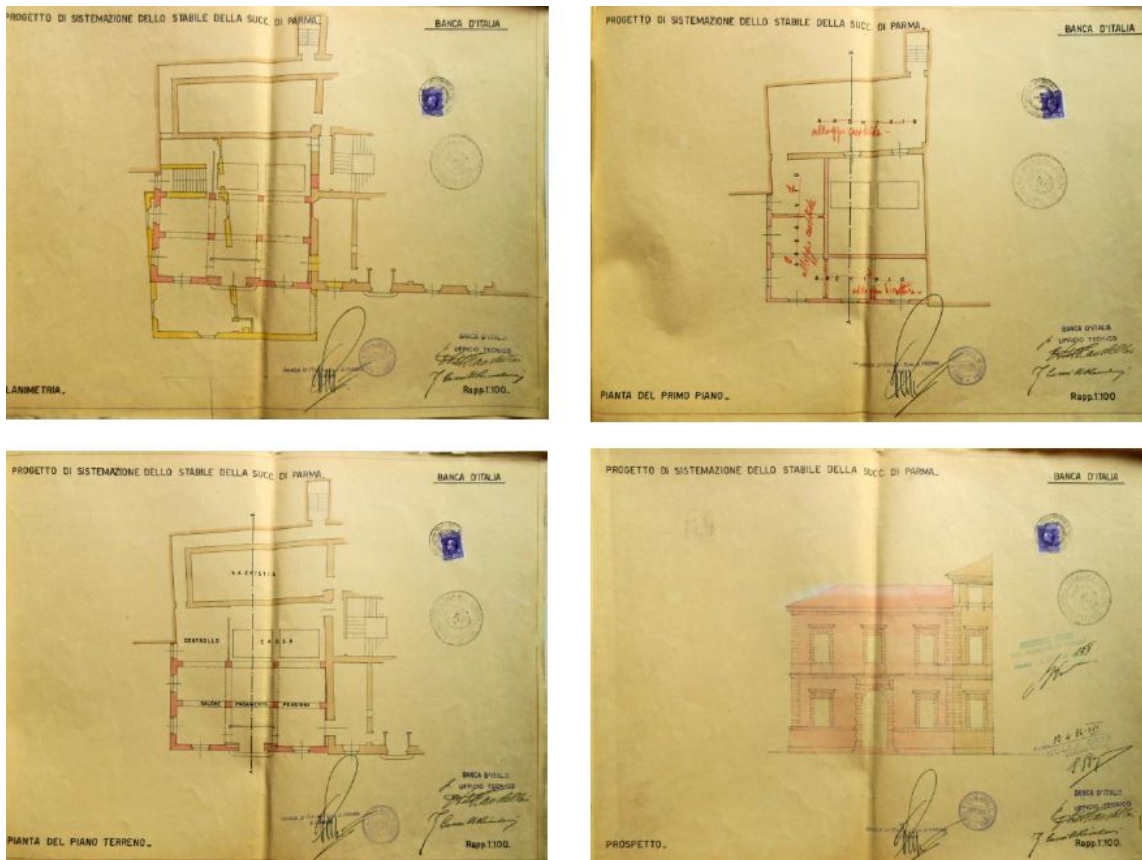


Figura 25\_Esempio di indagine storico- documentale applicata al fabbricato dell'ex sede della Banca d'Italia, Parma- Pietro Scandellari, progetto di sistemazione del fabbricato posteriore della Banca d'Italia, 1938, Archivio Storico Comunale di Parma, Licenze di fabbrica n°83/1938.

### 3) Rilievo geometrico

Il rilievo è l'operazione che permette la conoscenza stereometrica della fabbrica con l'individuazione delle caratteristiche plano- altimetriche degli elementi costruttivi e dei rapporti con gli eventuali edifici in aderenza; l'obiettivo è quello di comprenderne lo schema strutturale.

Ad ogni livello è necessario rilevare la geometria di tutti gli elementi in muratura:

- b. Maschi murari: spessore, tipologia di muratura, tessitura, ..., presenza di nicchie, cavità, aperture richiuse, canne fumarie, impianti che riducono lo spessore murario;
- c. Volte: spessore e profilo;
- d. Solai e copertura: tipologia e orditura;
- e. Scale: tipologia strutturale;
- f. Fondazioni: tipologia strutturale.

La fase di rilievo deve permettere l'identificazione dello schema strutturale resistente con particolare attenzione agli aspetti rilevanti per il modello di calcolo ovvero imposta dei solai di interpiano ed entità dell'appoggio degli stessi sulle murature d'ambito e determinazione delle masse degli elementi e dei carichi agenti.

#### **4) Rilievo di dissesti e lesioni**

Il rilievo del quadro fessurativo e deformativo in atto permette di definire le patologie cui è soggetta la struttura poiché permettono di identificare i meccanismi in atto e delle cause che li hanno determinati.

Le lesioni devono venir classificate in base alla loro geometria considerando estensione e ampiezza, al cinematismo ovvero distacco, rotazione, scorrimento, ribaltamento fuori dal piano; in maniera analoga le deformazioni devono essere distinte in funzione della loro natura: fuori piombo, abbassamenti, rigonfiamenti, spanciamenti, depressioni nelle volte, ...

#### **5) Rilievo materico e analisi dei degradi**

Il rilievo materico deve permettere l'identificazione del sistema resistente dell'edificio con particolare attenzione all'identificazione dei materiali e del loro stato di conservazione.

Data l'importanza di preservare particolarmente negli edifici storici quanto più possibile la materia costituente la fabbrica è necessario a ricorrere a tecniche non distruttive di tipo indiretto quali termografia, georadar, tomografia sonica o ispezioni debolmente distruttive come endoscopie, scrostamento di intonaci, saggi, piccoli scassi.

La conoscenza delle tecniche costruttive della zona in cui sorge la costruzione nelle diverse epoche è un buon modo per "guidare" le indagini strumentali.

Una volta identificati i materiali che compongono la struttura è necessario identificare ed analizzare i degradi che li hanno colpiti e che possono diminuirne le caratteristiche meccaniche.

I degradi possono essere i seguenti: distacco, erosione, lacuna, macchia, patina, vegetazione, ...

#### **6) Caratterizzazione meccanica dei materiali**

La caratterizzazione meccanica dei materiali avviene normalmente mediante prove diagnostiche è tuttavia da considerare che per i beni tutelati è necessario prestare particolare attenzione ad intaccare il meno possibile il substrato preferendo prove poco invasive.

Particolare attenzione deve essere prestata alle aree in cui effettuare le prove identificando eventuali zone di sacrificio nelle aree meno in vista e che non presentino elementi di particolare pregio.

In ogni caso le prove che vengono eseguite sono in numero molto limitato tale da non permettere una trattazione statistica dei dati significativa in relazione all'utilizzo di metodi probabilistici o semi-probabilistici.

La programmazione delle indagini e l'interpretazione dei dati va inserita in un percorso di conoscenza più ampio in cui anche un solo dato può assumere un valore significativo; in particolare è necessario fare riferimento a murature simili presenti nella zona in cui sorge il manufatto e di età

coeva; a tal fine è da rilevare l'importanza che acquisiscono i data base gestiti su base regionale che classificano le tessiture e le tipologie più diffuse in relazione ai periodo costruttivi; non da ultimo è possibile fare riferimento ai valori proposti dalle normative vigenti in particolare l'Eurocodice 8 e la Circolare n°617/2009.

## **7) Monitoraggio**

Il monitoraggio è un aspetto fondamentale per controllare lo "stato di salute" del bene.

Nell'ottica di preservare il manufatto in esame per il tempo più lungo possibile con interventi puntuali e scarsamente invasivi è necessario approntare un sistema di monitoraggio che funga non solo da controllo ma primariamente da allarme per rilevare quanto prima il progredire del dissesto osservato. Come è evidente dall'affermazione precedente prima di poter monitorare è necessario identificare cosa porre sotto controllo ed è pertanto fondamentale identificare quali sono i dissesti già presenti e potenziali che interessano la struttura.

Al monitoraggio visivo è possibile affiancare il monitoraggio strumentale opportunamente tarato in funzione del dissesto da analizzare, tecniche quali la fotogrammetria, la topografia, monitoraggio wireless, laser scanner agevolano il compito.

Talvolta il ricorso al monitoraggio può essere esso stesso un modo per mettere in sicurezza l'edificio e conservarlo senza alcun intervento.

## 5 MECCANISMI DI COLLASSO

---

“Solo la parte più debole della costruzione cede al sisma,  
senza trascinare con sé le porzioni adiacenti”

Antonino Giuffrè<sup>34</sup>, *Sicurezza e Conservazione dei Centri storici. Il Caso di Ortigia*

---

<sup>34</sup> Giuffrè A., (a cura di), *Sicurezza e Conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, op. cit.

## MECCANISMI DI COLLASSO

Le strutture in muratura possono essere soggette a diversi meccanismi di collasso in funzione dell'interazione tra le diverse strutture verticali e le stesse ed i solai.

I meccanismi si distinguono in meccanismi locali e meccanismi globali, chiaramente si attivano solo in caso in cui la muratura sia in grado di non disintegrarsi.

Il D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e la relativa Circolare 2 febbraio 2009 n. 617, al Punto C8.7.1.1 riguardante gli edifici esistenti, indicano che quando la costruzione non è in grado di attivare un comportamento d'insieme essa reagisce al sisma come un insieme di sottogruppi che vengono definiti meccanismi locali.

Tali meccanismi sono ricorrenti e si sono evidenziati in occasione di diversi terremoti quali quello di Umbria e Marche, quello dell'Emilia.

Dall'osservazione del ripetersi di meccanismi comuni è stato possibile realizzare la redazione di abachi dei meccanismi che ad oggi hanno anche funzione preventiva.

### 5.1 DISGREGAZIONE DEL PARAMENTO MURARIO

Un aspetto fondamentale che sta ancor prima di poter identificare il meccanismo di collasso che interessa la costruzione in esame è la disgregazione del paramento murario.

Il fenomeno della disgregazione si ha quando gli elementi che compongono il pannello non sono in grado di garantire una coesione sufficiente a generare quanto meno un comportamento a corpo rigido; spesso la causa risiede nella cattiva qualità dei materiali usati ed in particolare della malta, nella mancanza di diatoni, nella disposizione non corretta degli elementi all'interno della muratura, nella presenza di un nucleo ampio e scadente.

Il fenomeno risulta molto pericoloso in quanto non consente agli occupanti l'edificio di avere il tempo necessario per mettersi in sicurezza uscendo dalla struttura, risulta quindi di vitale importanza scongiurare tale tipo di fenomeno.

Le immagini che seguono mostrano fenomeni di disgregazione dovuti alla cattiva qualità della malta.



Figura 26\_Edificio residenziale, Cavezzo, MO



Figura 27\_Edificio residenziale, pianura modenese



Figura 28\_Maschio del Castello di Finale Emilia



Figura 29\_Castello di Finale Emilia

## 5.2 MECCANISMI LOCALI

Qualora l'edificio abbia almeno la capacità di non disgregarsi, i fenomeni verso i quali risulta maggiormente esposto sono i cosiddetti meccanismi locali identificati per la prima da Giuffrè<sup>35</sup>

Come già ricordato nelle campagne di indagine per il rilevamento dei danni post sisma hanno evidenziato la ricorrenza dei meccanismi di danno che sono stati, quindi, catalogati in funzione della "tipologia" di edificio ovvero esiste un abaco per gli edifici con pareti portanti disposte nelle due direzioni e da un sistema di orizzontamenti intermedi ed uno per le chiese ovvero edifici con paramenti murari di notevole altezza ad aula unica pertanto privi di orizzontamenti intermedi, è in fase di definizione un abaco dei meccanismi relativi alle rocche, si veda a tal fine la proposta realizzata da Coïsson, Ferretti, Lenticchia.<sup>36</sup>

Questi abachi definiti su base empirica<sup>37</sup>, nati inizialmente a mero scopo catalogativo assumono ora un significato preventivo guidando il progettista dell'intervento di restauro nella definizione dei possibili meccanismi cui la costruzione in esame può essere soggetta.

I meccanismi più diffusi negli aggregati edilizi tipici dei centri storici italiani sono i seguenti:

- 1) Ribaltamento semplice della parete fuori dal piano che può presentare un unico paramento o essere a doppia cortina;
- 2) Ribaltamento composto della parete fuori dal piano di cuneo diagonale, di cuneo a doppia diagonale,
- 3) Ribaltamento del cantonale;
- 4) Flessione verticale di parete
- 5) Flessione orizzontale di parete

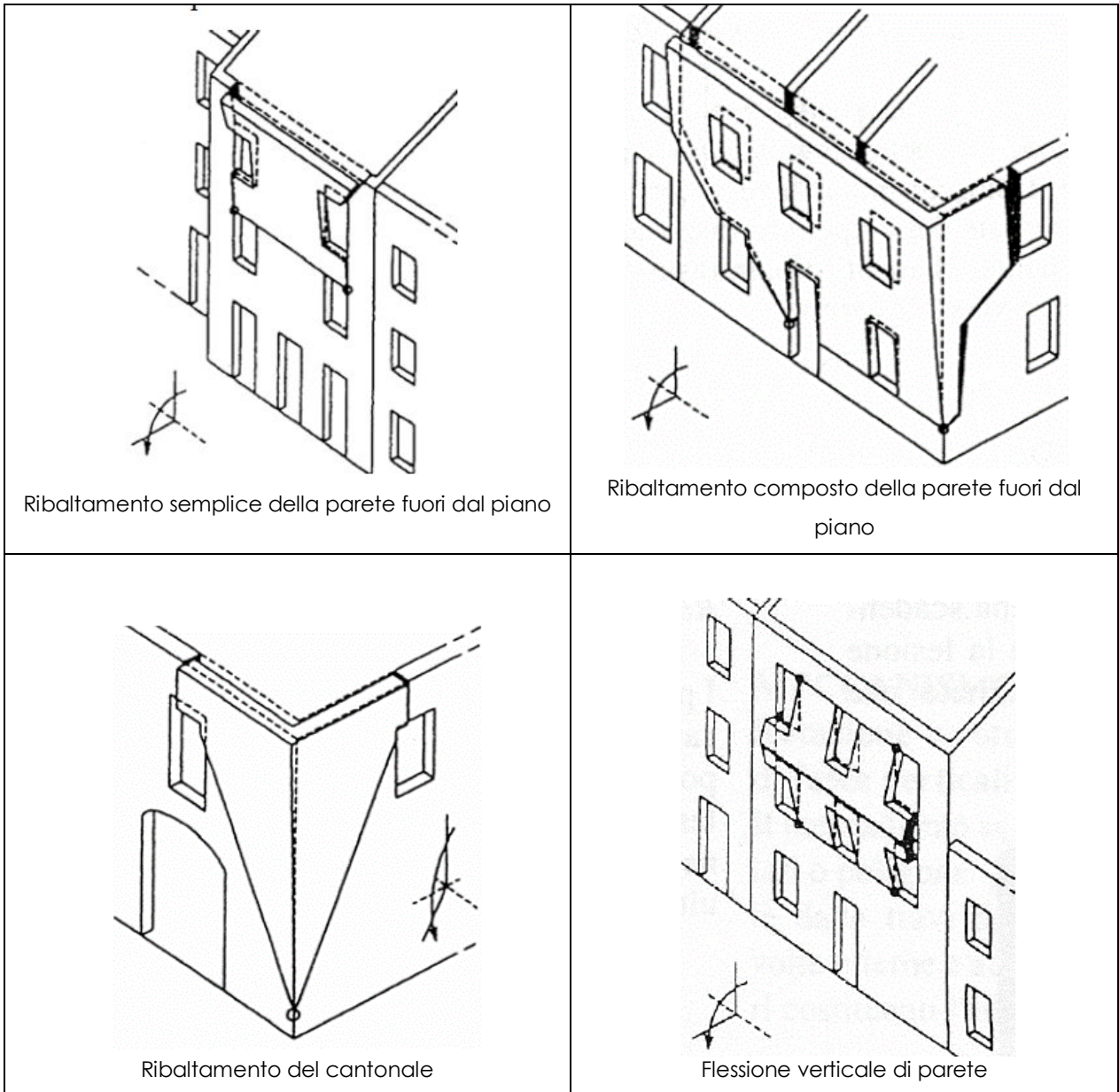
<sup>35</sup> Giuffrè A., (a cura di), *Sicurezza e Conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Laterza, 1993

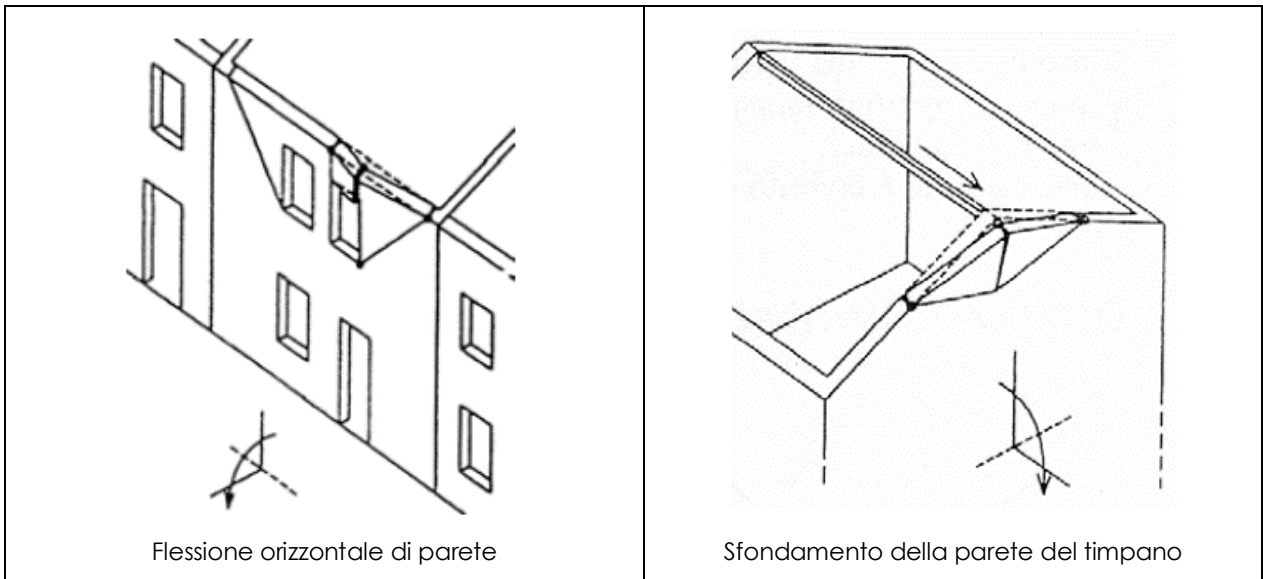
<sup>36</sup> Coïsson E., Ferretti D., Lenticchia E., *Italian castel and earthquakes: a GIS for knowlwdge and preservation*, in corso di pubblicazione

<sup>37</sup> Si veda Blasi C., *Una ragionevole rivalutazione dell'Empirismo* in L'Architetto Italiano n.17, 2006-2007, Mancosu Editore, p.112

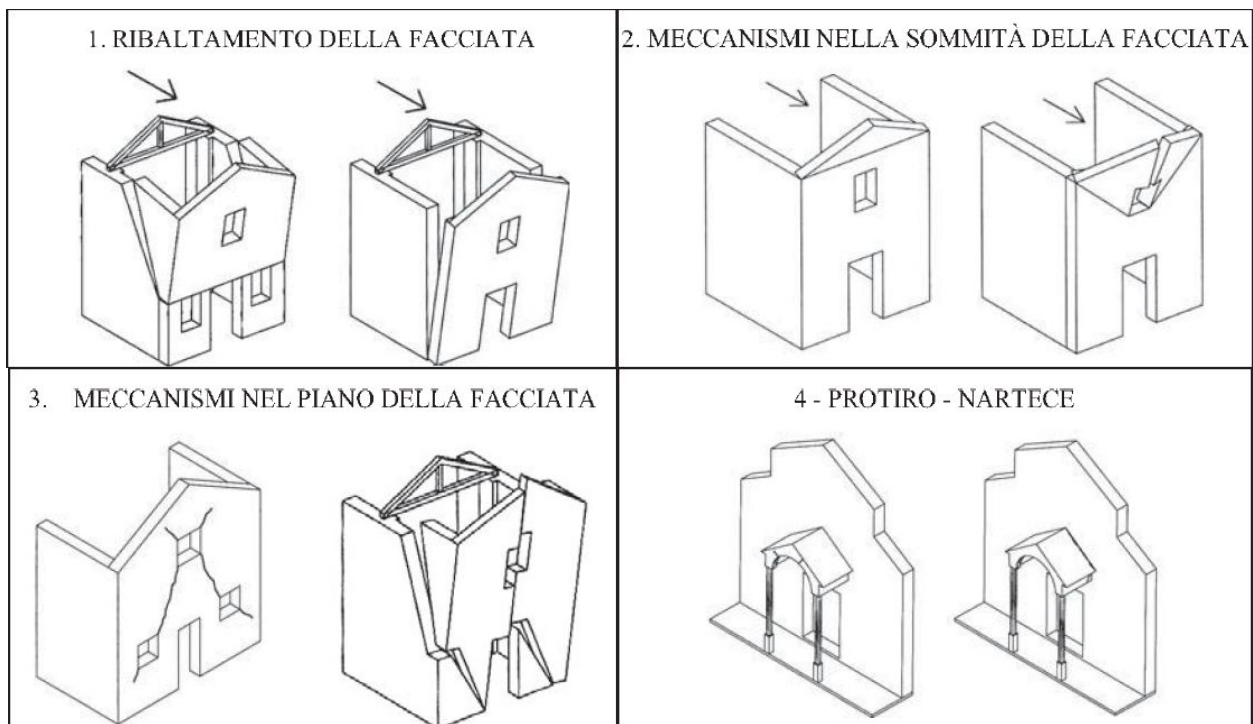
6) Sfondamento della parete del timpano

Si riportano alcuni esempi di meccanismi locali per gli edifici in aggregato tratti da Bollettino Ufficiale Regione Marche, 2000.

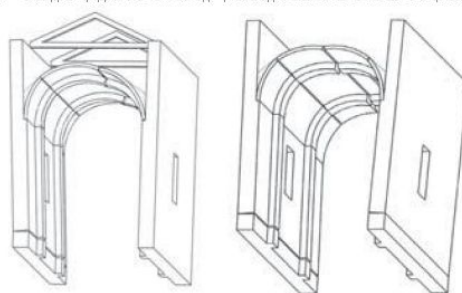
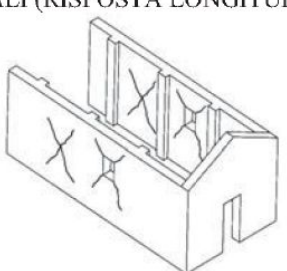
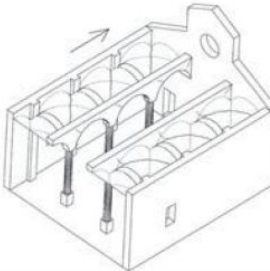
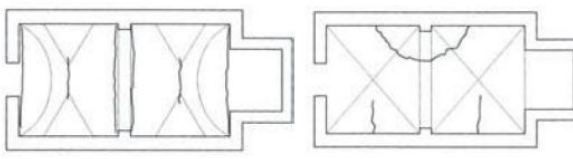
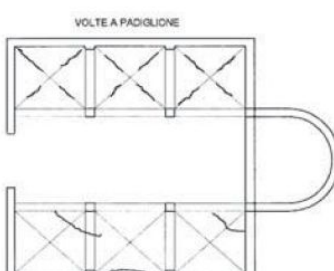
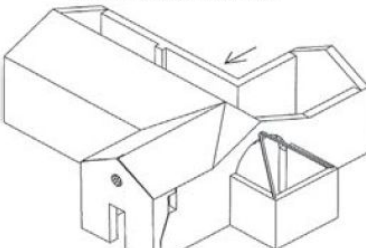
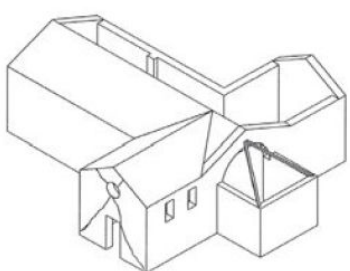
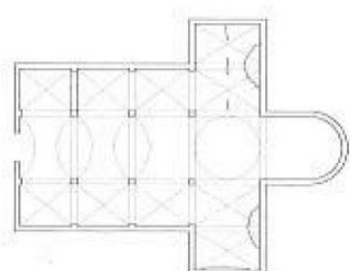
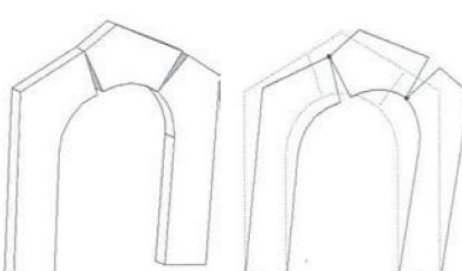
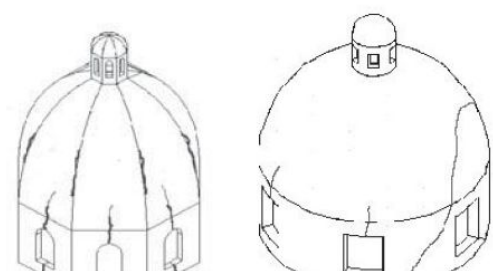


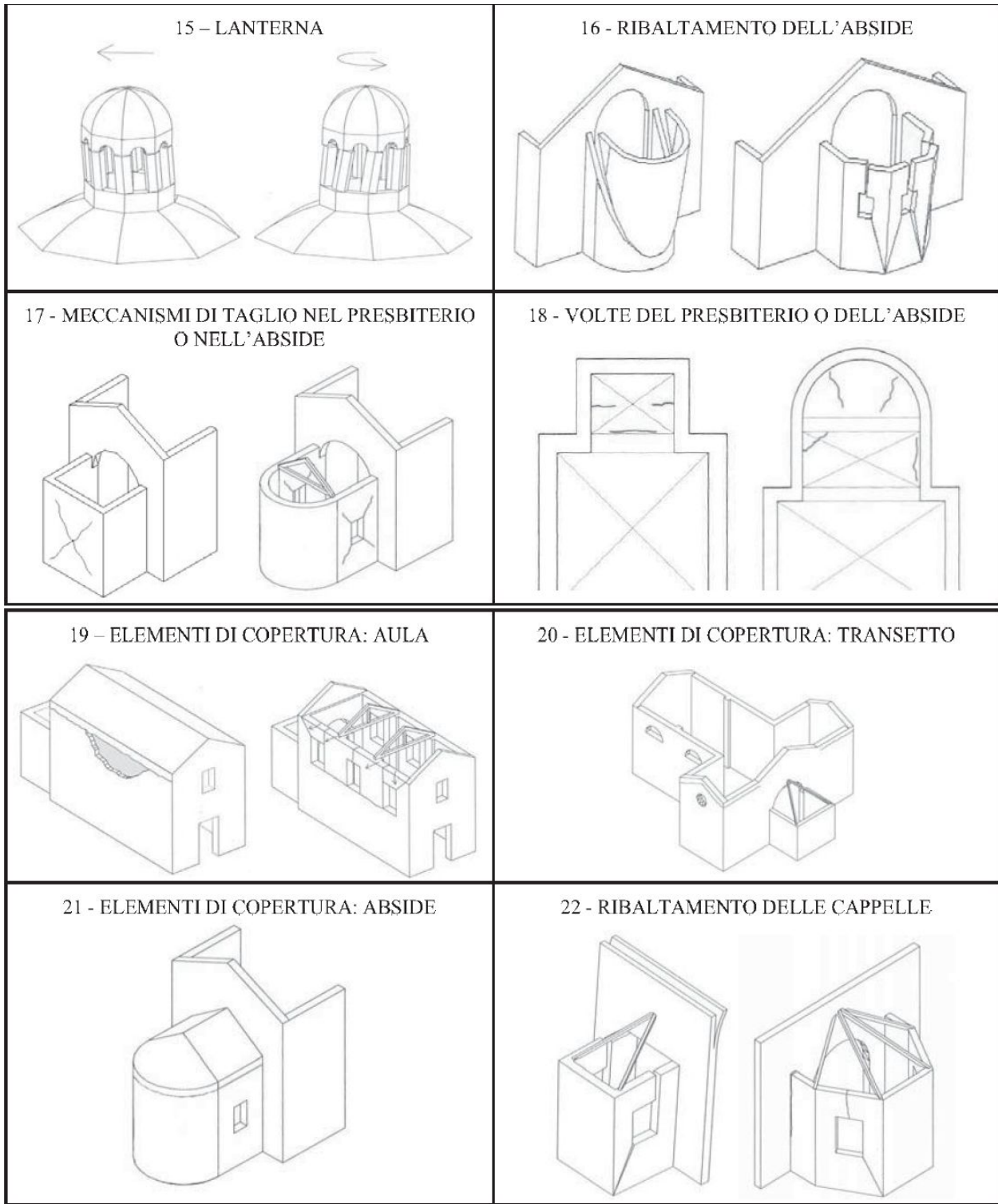


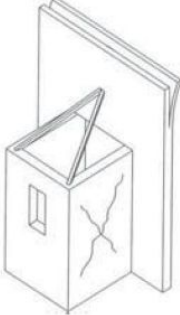
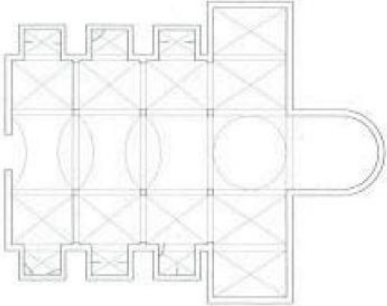
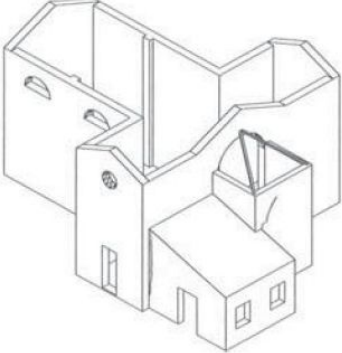
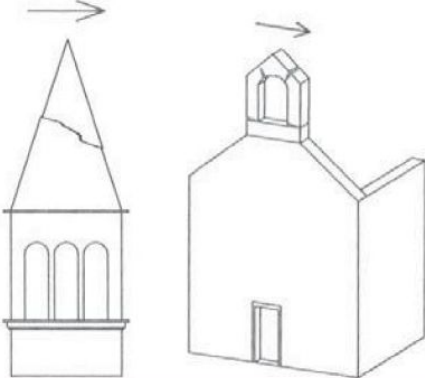
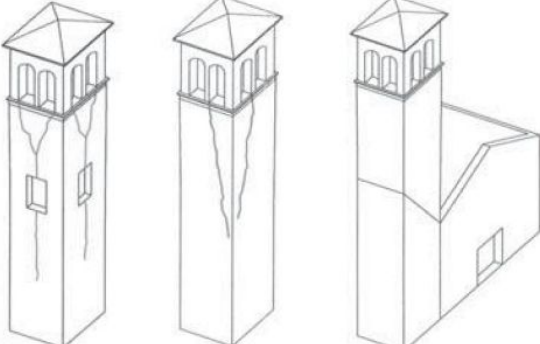
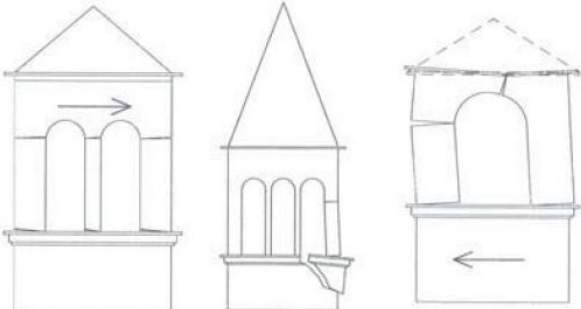
Nel seguito si riporta l'abaco dei meccanismi locali per le chiese tratto dalla Direttiva 9/2/2011<sup>38</sup>



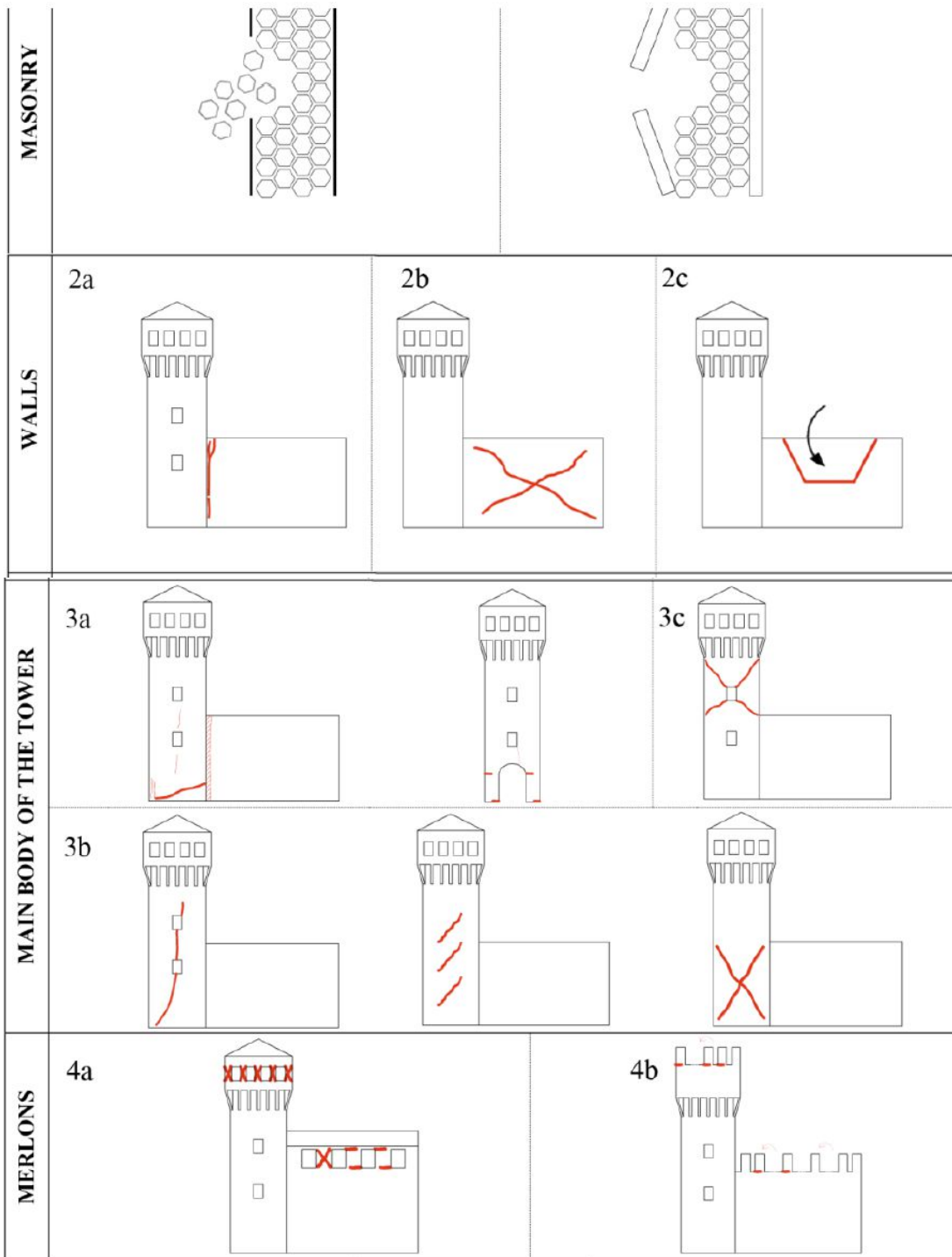
<sup>38</sup> Direttiva P.C.M. 9 febbraio 2011-Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008

<p>5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</p> 	<p>6 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)</p> 
<p>7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO</p> 	<p>8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE</p>  <p>VOLTA A BOTTE LUNETTATA</p> <p>VOLTE A CROCIERA</p>
<p>9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</p>  <p>VOLTE A PADIGLIONE</p> <p>VOLTE A CROCIERA</p>	<p>10 - RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO</p> 
<p>11 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO</p> 	<p>12 - VOLTE DEL TRANSETTO</p> 
<p>13 - ARCHI TRIONFALI</p> 	<p>14 - CUPOLA - TAMBURO / TIBURIO</p> 

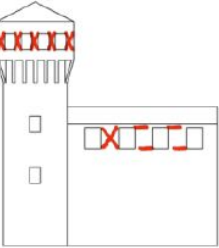
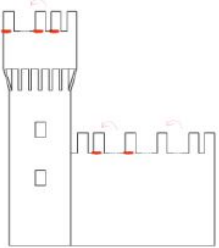
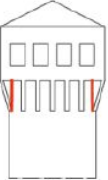
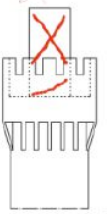
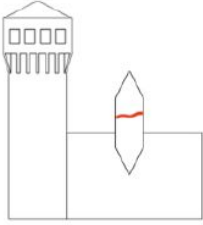
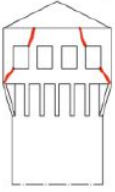
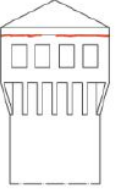
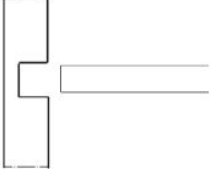
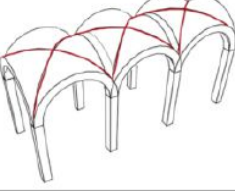
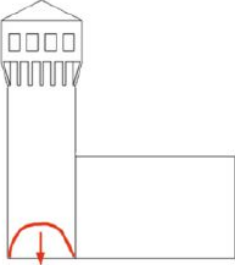
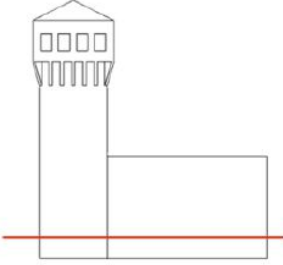


<p>23 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE CAPPELLE</p> 	<p>24 - VOLTE DELLE CAPPELLE</p> 
<p>25 - INTERAZIONI IN PROSSIMITA' DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE</p> 	<p>26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)</p> 
<p>27 - TORRE CAMPANARIA</p> 	<p>28 - CELLA CAMPANARIA</p> 

Si riporta la proposta fatta da Coïsson, Ferretti, Lenticchia per i meccanismi delle rocche<sup>39</sup>



<sup>39</sup> Coïsson E., Ferretti D., Lenticchia E., *Italian castel and earthquakes: a GIS for knowlodge and preservation*, in corso di pubblicazione

<b>MERLONS</b>	4a		4b			
<b>PROTRUDING ELEMENTS</b>	5a		5b		5c	
<b>ROOF</b>	6a		6b			
<b>FLOORS</b>	7a		7b			
<b>FOUNDATIONS</b>	8a		8b			

Pur differenziati per le diverse tipologie edilizie è possibile riconoscere negli abachi riportati alcuni temi fondamentali:

- 1) Meccanismi dovuti a cattivo ammorso mutuo tra le murature ortogonali che determinano ribaltamenti fuori dal piano;
- 2) Meccanismi dovuti ad elementi spingenti non adeguatamente contrastati quali cantonali, volte, cupole;
- 3) Vulnerabilità connesse ad irregolarità plano- altimetriche che rendono gli elementi emergenti vulnerabili quali torri, campanili, cappelle laterali, absidi;
- 4) Meccanismi dovuti all'eccessiva snellezza dei maschi murari interessati da aperture come merli, celle campanarie.

I meccanismi locali vengono indagati mediante l'analisi limite di equilibrio che rende possibile determinare, dato un sistema su cui agisce una configurazione di carico proporzionale ad un

moltiplicatore  $a$ , il valore di tale coefficiente che porta alla perdita di equilibrio della struttura mediante la creazione di un cinematismo (meccanismo di collasso).

Tale meccanismo si presta in maniera ottimale ad indagare la capacità portante di un sistema strutturale nei confronti del terremoto poiché è possibile definire l'azione sismica come un sistema di forze orizzontali proporzionali ai pesi attraverso un moltiplicatore dei carichi  $a$ .

Nel seguito si riportano immagini dei paesi di Cavezzo, Finale Emilia e Mirandola, MO colpiti dal sisma di maggio 2012.



Figura 30\_Ospedale di Finale Emilia, MO, Ribaltamento semplice di paramento murario

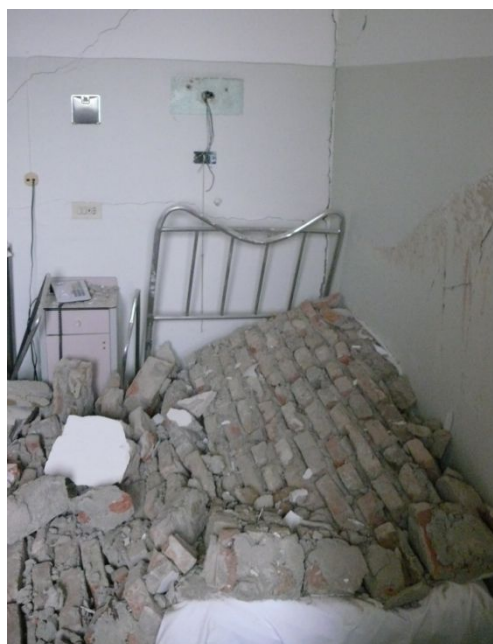


Figura 31\_Ospedale di Finale Emilia, MO, Ribaltamento semplice di paramento murario



Figura 32\_Edificio residenziale, Cavezzo, MO, Flessione verticale fuori dal piano di facciata



Figura 33\_Edificio residenziale, Cavezzo, MO, Flessione verticale fuori dal piano di facciata



Figura 34\_Edificio commerciale, Cavezzo, MO, Flessione verticale fuori dal piano di facciata



Figura 35\_Edificio commerciale, Cavezzo, MO, Ribaltamento fuori dal piano di facciata



Figura 36\_Chiesa di Cavezzo, MO, Ribaltamento semplice della facciata



Figura 37\_Chiesa di Cavezzo, MO, Ribaltamento timpano fuori dal piano e disgregazione



Figura 38\_Chiesa di Cavezzo, MO, Disgregazione della porzione sommitale della facciata



Figura 39\_Chiesa di Cavezzo, MO, Ribaltamento della facciata



Figura 40\_Chiesa di Cavezzo, MO, Lesioni longitudinali sul campanile e dell'abside



Figura 41\_Chiesa di Cavezzo, MO, Lesioni longitudinali sul campanile



Figura 42\_Castello di Finale Emilia, MO, Rotazione della copertura e rottura dei merli



Figura 43\_Castello di Finale Emilia, MO, Lesioni



Figura 44\_Edificio residenziale Cavezzo, MO, ribaltamento della facciata con cuneo di distacco



Figura 45\_Edificio residenziale Cavezzo, MO, ribaltamento della facciata con cuneo di distacco



Figura 46\_Agglomerato edilizio, Cavezzo, MO, martellamento tra corpi di fabbrica semplicemente accostati



Figura 47\_Ospedale di Mirandola, MO, martellamento tra corpi di fabbrica con irregolarità piano altimetriche semplicemente accostati

### 5.3 MECCANISMI GLOBALI: METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

I meccanismi globali vengono presi in considerazione secondo una scala gerarchica solo quando viene garantita l'impossibilità del paramento di disgregarsi e vengono impediti i meccanismi locali, quindi, questi due aspetti divengono condizioni sine qua non poter analizzare il meccanismo d'insieme della struttura.

La qualità muraria e l'ingranamento dei diversi conci sono le condizioni necessarie affinché non si instauri la disgregazione della muratura sottoposta a forze orizzontali quali quelle determinate da un sisma; per quanto riguarda i meccanismi locali, è, invece, possibile affermare che è il grado di vincolo tra i diversi elementi strutturali a consentire o meno tali fenomeni: l'ammorsamento tra murature ortogonali, la presenza ad intervalli regolari non superiori ai 5-7m di muri di spina, il grado di connessione delle murature con gli orizzontamenti sono elementi determinanti nell'instaurarsi di simili meccanismi.

È possibile delineare un'analisi integrata che tenga in conto dei meccanismi fino a qui esposti, in altre parole le potenziali modalità di danneggiamento di una struttura vanno valutati come parti di un unico procedimento che ha lo scopo di evidenziare le criticità della struttura.

Si riportano alcuni esempi di meccanismi globali dovuti a fenomeni di taglio per fessurazione diagonale.



Figura 48\_Edificio residenziale Cavezzo, MO, lesioni diagonali a taglio



Figura 49\_Edificio residenziale Cavezzo, MO, lesioni diagonali a taglio



Figura 50\_Edificio commerciale Cavezzo, MO, lesioni diagonali a taglio

L'analisi della risposta sismica globale per le strutture esistenti in muratura e miste può essere svolta come indicato al Punto C8.7.1.4 delle Circolare n°617 con i seguenti metodi:

- 1) Analisi statica lineare,
- 2) Analisi dinamica lineare,
- 3) Analisi statica non lineare,
- 4) Analisi dinamica non lineare.

L'analisi statica non lineare, che si utilizza per i sistemi dissipativi e tiene conto delle non linearità del materiale e geometriche, risulta l'analisi principe per le strutture esistenti in muratura.

### **5.3.1 L'analisi statica non lineare**

La normativa italiana per quanto riguarda gli edifici esistenti lega il tipo di analisi permessa al livello di conoscenza, per quanto riguarda la muratura si fa riferimento a quanto riportato al Punto C8A.1.1 dell'Allegato alla Circolare esplicativa n°617 ove sono ammessi tutti i tipi di analisi, ai fini della presente tesi ci si è concentrati sull'analisi statica non lineare, le motivazioni sono riportate nel seguito. Poiché le strutture in muratura sono caratterizzate da un comportamento non lineare si ritiene che possano essere più significativamente rappresentate mediante un'analisi statica non lineare perciò la norma italiana amplia esclusivamente per tali strutture la possibilità di applicazione di questo tipo di analisi anche ai casi in cui la massa partecipante non raggiunga il 75%.

Trattandosi di costruzioni esistenti, la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi possono essere eseguiti, come previsto al Punto 8.3 delle NTC, con riferimento ai soli SLU, nel caso in esame le verifiche agli SLU vengono eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV).

#### **5.3.1.1 Capacità degli elementi strutturali**

Si riportano brevemente nel seguito i principali meccanismi di rottura di un edificio in muratura.

Così come già ricordato i meccanismi possono essere di primo o secondo modo a seconda che si sviluppino come meccanismi locali che solitamente comportano il ribaltamento fuori dal piano di porzioni di paramento o che coinvolgano globalmente la struttura.

I meccanismi di primo modo sono altrimenti identificati come meccanismi di pressoflessione fuori dal piano o ortogonale, i meccanismi di rottura globali di un edificio in muratura sono riassunti nel seguito.

##### 1) Meccanismi di flessione e taglio di travi di accoppiamento

Le fasce di piano sono ciò che fornisce l'accoppiamento fra i diversi maschi murari; tali travi possono rompersi per eccessiva compressione del puntone compresso o per taglio in analogia rispettivamente alla rottura per pressoflessione complanare e taglio del maschio murario successivamente descritte.

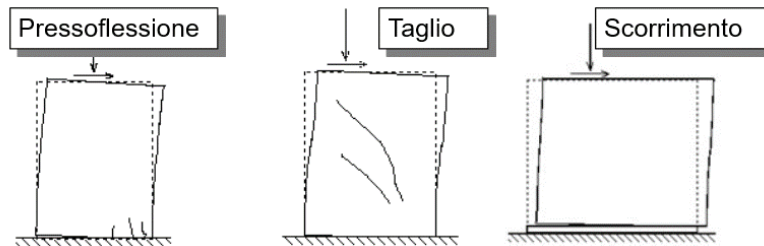
La presenza di fasce di piano può essere utilizzata nel modello di calcolo a patto che le verifiche vengano estese anche a tali elementi, a tale scopo si utilizzano modelli a telaio equivalente.

Gli elementi di accoppiamento possono essere considerati efficaci se:

- 1) Aventi altezza almeno pari allo spessore del solaio se in conglomerato cementizio armato;
- 2) Sorrette da un cordolo di piano e/o un architrave resistenze a flessione efficacemente ammortato alle estremità se in muratura ordinaria.

## 2) Meccanismi di flessione e taglio dei pannelli murari

I singoli pannelli murari possono rompersi a pressoflessione, a taglio per fessurazione diagonale o per scorrimento, vengono ora descritti i diversi meccanismi.



40

### a. Pressoflessione complanare

Quando il momento di design generato da una forza orizzontale che sollecita un maschio murario nel piano raggiunge il valore ultimo generando lo schiacciamento della zona compressa si ha la rottura per pressoflessione complanare del pannello.

Per la valutazione del momento ultimo che il maschio murario è in grado di sopportare si fa riferimento al Punto 7.8.2.2.1 NTC2008

La verifica a pressoflessione nel piano si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente calcolato trascurando la resistenza a trazione della muratura ed una distribuzione non lineare delle compressioni.

Nel valutare il momento ultimo si considera, pertanto, la sezione parzializzata con deformazione lineare (conservazione delle sezioni piane) e si assume a rottura un diagramma delle compressioni con distribuzione costante (stress block) pari a  $0.85f_d$ .

La dimensione della zona reagente (avente lunghezza  $x$ ) si può ricavare dalla condizione di equilibrio che si ottiene ponendo la risultante delle tensioni pari alla forza assiale  $P$ :

$$P = 0.85 \cdot x \cdot t \cdot f_d$$

Da cui

$$x = \frac{P}{0.85 \cdot t \cdot f_d}$$

Il momento ultimo  $M_u$  si ottiene moltiplicando lo sforzo normale per l'eccentricità alla base del pannello  $e_{inf}$  (eccentricità pari alla distanza tra la posizione della risultante delle tensioni e l'asse del pannello di lunghezza  $l$ )

$$e_{inf} = \frac{l}{2} - \frac{x}{2} = \frac{l}{2} \cdot \left(1 - \frac{P}{0.85 \cdot l \cdot t \cdot f_d}\right)$$

Poiché è possibile indicare con  $\sigma_n$  la tensione media di compressione riferita all'intera area del pannello

$$\sigma_n = \frac{P}{l \cdot t}$$

Si ottiene l'espressione indicata dalle NTC al Punto 7.8.2.2.1

$$M_u = \frac{l^2 \cdot t \cdot \sigma_n}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_n}{0.85 \cdot f_d}\right)$$

Dove

- 1)  $M_u$  è il momento corrispondente al collasso per pressoflessione;
- 2)  $l$  è la lunghezza complessiva della parete (che comprende sia la lunghezza della zona compressa che della zona tesa);
- 3)  $t$  è lo spessore della zona compressa della parete;
- 4)  $\sigma_0$  è la tensione normale media riferita all'area totale della sezione

$$\sigma_0 = \frac{P}{l \cdot t}$$

Con  $P$  forza assiale, positiva se di compressione; se  $P$  è di trazione il momento ultimo è nullo e inoltre, poiché il momento ultimo dipende linearmente dallo sforzo di compressione se l'elemento è privo di questo contributo la resistenza che si esplica è nulla.

- 5)  $f_d = f_k / \gamma_M$  è la resistenza a compressione di calcolo della muratura; in caso di analisi pushover la resistenza a pressoflessione viene calcolata ponendo  $f_d$  uguale al valore medio di resistenza a compressione della muratura e lo spostamento ultimo viene assunto pari allo 0.8% della altezza del pannello.

### b. Taglio nel piano

La rottura per taglio può avvenire per fessurazione diagonale ovvero per rottura del concio o del giunto o per scorrimento lungo i letti di malta; la normativa indica che per gli edifici in muratura formata da conci non regolari o caratterizzata da scarsi valori di resistenza la crisi più probabile sia quella per fessurazione diagonale, nel seguito vengono esposte entrambe le possibili rotture

#### i. Rottura per scorrimento orizzontale

Si fa riferimento al criterio dell'attrito interno alla Coulomb.

$$V_t = l' \cdot t \cdot f_{vd}$$

Dove :

- 1)  $l'$  è la lunghezza della parte compressa della parete ovvero la base reagente determinata ipotizzando una distribuzione lineare delle tensioni normali in fase elastica sotto lo sforzo normale  $P_d$  e del momento flettente di calcolo  $M_d$ , qualora lo sforzo assiale fosse nullo si annullerebbero sia lo sforzo di compressione  $\sigma_n$  che la base reagente  $l'$ .
- 2)  $t$  è lo spessore della parete;
- 3)  $f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$  dove  $f_{vk}$  è la resistenza caratteristica a taglio della muratura in presenza di effettive tensioni di compressione valutata con

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \cdot \sigma_n$$

- a.  $f_{vk0}$  è la tensione normale media dovuta ai carichi verticali agenti sulla sezione di verifica,
- b.  $\gamma_M$  è il coefficiente parziale di sicurezza a compressione della muratura comprensivo delle incertezze di modello e di geometria.

Il valore di  $f_{vk}$  non può essere maggiore di 1.4 volte la resistenza caratteristica a compressione degli elementi nella direzione di applicazione della forza ne maggiore di 1.5 MPa.

In caso di analisi statica non lineare la resistenza a taglio viene calcolata come segue:

$$f_{vd} = f_{vm0} + 0.4 \cdot \sigma_n$$

Con  $f_{vm0}$  resistenza media a taglio della muratura ( $f_{vm0}=f_{vk0}/0.7$ ) e lo spostamento ultimo viene assunto pari a 0.4% dell'altezza del pannello.

Il valore di  $f_{vd}$  non deve essere maggiore di 2 volte la resistenza caratteristica a compressione degli elementi nella direzione di applicazione della forza ne maggiore di 2.2MPa.

#### ii. Rottura per fessurazione diagonale

Questo criterio viene applicato solamente agli edifici esistenti come già ricordato (Punto C8.7.1.5 delle NTC2008) e si determina nel caso in cui la tensione di trazione nel centro del pannello raggiunge la resistenza di calcolo della muratura  $f_{td}$ .

La formulazione è la seguente:

$$V_t = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_{0d}}}$$

Dove

- 1)  $l$  è la lunghezza del pannello
- 2)  $t$  è lo spessore del pannello
- 3)  $\sigma_0$  è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione
- 4)  $f_{td}$  è il valore di calcolo della resistenza a trazione per fessurazione diagonale
- 5)  $\tau_{0d}$  è il valore di calcolo della resistenza a taglio di riferimento della muratura, con:

$$f_{td} = 1.5 \cdot \tau_0$$

- 6)  $b$  è il coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione dipendente dalla snellezza della parete, si può assumere  $1 \leq b = h/l \leq 1.5$

Per la determinazione della resistenza ultima dei meccanismi, in riferimento alla capacità deformativa si assume:

- 1) A pressoflessione → la rotazione ultima della corda cerniera flessionale sia pari allo 0.6% dell'altezza del pannello
- 2) Taglio → il drift ultimo sia pari allo 0.4% dell'altezza del pannello.

I pannelli murari vengono considerati resistenti anche nei confronti delle azioni orizzontali se hanno una lunghezza almeno pari a 0.4 volte l'altezza di interpiano.

Il comportamento strutturale della parete, costituita da più maschi in parallelo, si definisce a partire da quello dei singoli maschi; sotto l'azione di una forza orizzontale tutti i maschi che compongono la parete presentano un medesimo spostamento, ognuno di essi reagisce con una forza dipendente dalla propria rigidezza alla traslazione.

Il diagramma forza- spostamento della parete si ottiene sommando i contributi resistenti di ciascun maschio.

La fase elastica del diagramma termina al raggiungimento del limite elastico del primo maschio, quando tutti i maschi raggiungono tale soglia inizia il tratto orizzontale (fase perfettamente plastica): la forza corrispondente è la massima sviluppabile dalla parete nel suo complesso ed è quindi la resistenza ultima della parete stessa.

Il tratto orizzontale termina quando il primo maschio giunge a rottura, successivamente ogni qualvolta un maschio giunge a rottura si ha uno scalino del diagramma.

Passando dal caso di una singola parete al considerare l'edificio nel suo complesso si procede come segue: si determinano i valori iniziali di piano (posizione del baricentro, centro delle rigidezze, eccentricità e momento polare) quindi si esegue l'analisi separatamente nelle due direzioni.

Fra tutti i valori ottenuti dello spostamento del centro delle rigidezze che portano le diverse pareti al limite elastico si assume il minore che determina il termine del comportamento elastico dell'intero complesso murario.

A partire dallo stato limite elastico, così definito, si inizia un procedimento incrementale per determinare il limite di fessurazione e quello di rottura: si applicano incrementi prefissati dello spostamento del centro delle rigidezze fino al momento in cui una parete raggiunge uno spostamento pari ad 1.2 volte il suo spostamento al limite elastico, tale valore indica convenzionalmente lo stato limite di fessurazione.

Lo stato ultimo viene raggiunto quando durante le iterazioni si determina un aumento della deformazione in presenza di forza reattiva stazionaria oppure decrescente: lo stato limite ultimo coincide, pertanto, con la configurazione corrispondente alla massima forza reattiva sviluppabile dal complesso murario prima di iniziare eventualmente a decrescere.

La verifica risulta soddisfatta se la forza reattiva del generico piano risulta maggiore del tagliante sismico, cioè delle forze di natura sismica agenti superiormente fino a tale piano.

Nel procedimento è necessario tenere in conto il comportamento plastico dei pannelli che, per effetto dello spostamento, superano il proprio limite elastico: questo si realizza sostituendo alla rigidezza  $k_0$  la rigidezza secante  $k(\delta)$ , valutata come segue:

per  $\delta \leq \delta_0$

$$k = k_0 = \tan \alpha_0 = \frac{V_u}{\delta_0}$$

per  $\delta_0 < \delta \leq \mu \cdot \delta_0$

$$k = k(\delta) = \tan \alpha = \frac{V_u}{\delta}$$

Dopo il limite elastico, la rigidezza di una parete è funzione dello spostamento, mentre la capacità reattiva corrispondente resta costante pari a  $V_u$ .

Ad ogni passo del procedimento si rende, inoltre, necessario aggiornare la posizione del centro delle rigidezze in funzione dei valori correnti delle rigidezze delle pareti che hanno superato il limite elastico.

Per descrivere il comportamento del piano  $i$ -esimo sottoposto a forza orizzontale si utilizza il diagramma forza- spostamento, questo diagramma costituisce l'estensione al caso spaziale della curva riferita ad ogni singola parete, lo spostamento orizzontale considerato in direzione del sisma è quello del baricentro  $G$  e la forza considerata è la forza  $V$  sviluppata dall'intero organismo.

Il diagramma complessivo è costituito da una retta che parte dall'origine ed ha pendenza pari alla rigidezza complessiva.

### 5.3.1.2 Procedimento di analisi

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

Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o global, lo spostamento orizzontale  $d_c$  di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione. Il diagramma  $F_b$ - $d_c$  rappresenta la curva di capacità della struttura.

Si considerano due distribuzioni di forze d'inerzia ricadenti l'una nelle distribuzioni principali, l'altra in quelle secondarie.

Nel caso in esame, in ottemperanza di quanto previsto al Punto C8.7.1.4 della Circolare n°617/2009, trattandosi di un edificio esistente, si assegnano la prima distribuzione del Gruppo 1 ovvero distribuzione proporzionale alle forze statiche e la prima del Gruppo 2 ovvero distribuzione uniforme di forze da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione indipendentemente dalla percentuale di massa partecipante sul primo modo.

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

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

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

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

dove  $\Gamma$  è il fattore di partecipazione modale definito come segue:

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

- ✓ Il vettore  $\tau$  è il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sisma considerata;
- ✓ Il vettore  $\varphi$  è il modo di vibrare fondamentale del sistema reale normalizzato ponendo  $d_c=1$ ;
- ✓ La matrice  $M$  è la matrice di massa del sistema reale.

Alla curva di capacità del sistema equivalente occorre sostituire una curva bilineare avente un primo tratto elastico ed un secondo tratto perfettamente plastico.

Detta  $F_{bu}$  la resistenza massima del sistema strutturale reale e  $F^*_{bu}=F_{bu}/\Gamma$  la resistenza massima del sistema equivalente, il tratto elastico si individua imponendo il passaggio per il punto  $0.7F^*_{bu}$  (Punto 7.8.1.6 NTC2008) della curva di capacità del sistema equivalente, la forza di plasticizzazione  $F^*_y$  si individua imponendo l'uguaglianza delle aree sottese dalla curva bilineare e dalla curva di capacità per lo spostamento massimo  $d^*_u$  corrispondente alla riduzione di resistenza  $\leq 0.15 \cdot F^*_{bu}$ .

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

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

dove

$$m^* = \Phi^T M \tau$$

e  $k^*$  è la rigidezza del tratto elastico della bilineare.

Nel caso in cui il periodo elastico della costruzione  $T^*$  risulti  $T^* \geq T_c$  la domanda di spostamento per il sistema anelastico è assunta uguale a quella di un sistema elastico di pari periodo.

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

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

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

dove

$$q^* = S_e(T^*) m^* / F^*_y$$

rappresenta il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

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

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

L'azione sismica deve essere applicata, per ciascuna direzione, in entrambi i possibili versi e si devono considerare gli effetti più sfavorevoli derivanti dalle due analisi.

Nel caso di analisi statica non lineare la verifica di sicurezza consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento ottenuta applicando l'analisi pushover come precedentemente descritta, come previsto al punto 7.8.1.6 delle NTC.

La rigidità elastica del sistema bilineare equivalente si individua tracciando la secante alla curva di capacità nel punto corrispondente ad un taglio alla base pari a 0.7 volte il valore massimo del taglio massimo alla base. Il tratto bilineare della curva si individua tramite l'uguaglianza delle aree sottese dalle curve tracciate fino allo spostamento ultimo del sistema.

L'analisi statica non lineare, ai fini della presente tesi viene applicata a modelli a telaio equivalente; nel seguito viene presentata una breve sintesi che permette un inquadramento della modellazione struttura a livello di telaio equivalente.

### **5.3.1.3 Modellazione strutturale- Inquadramento**

Come già ricordato la muratura è un materiale composito formato da elementi resistenti naturali o artificiali assemblati il più delle volte ricorrendo all'uso di un legante (malta).

Le modalità di realizzazione della muratura sono le più varie e sono funzione del periodo storico e dell'epoca di realizzazione.

Il comportamento meccanico della muratura è caratterizzato da:

- 1) Disomogeneità ovvero differenza di comportamento da punto a punto;
- 2) Anisotropia: differenza di comportamento nelle diverse direzioni;
- 3) Asimmetria di comportamento a compressione e a trazione;
- 4) Non linearità del legame sforzi- deformazioni;
- 5) Non linearità di tipo geometrico.

Per poter analizzare il materiale muratura esistono diversi modelli funzione della scala che si vuol considerare, nel seguito verranno brevemente esposti i diversi tipi di modellazione possibile.

La modellazione e la verifica delle strutture esistenti in particolare di quelle storiche in muratura risulta piuttosto complessa in funzione delle difficoltà insite nel conoscere e tenere in conto all'interno del modello di calcolo delle incertezze legate a geometria, materiali, degradi e condizioni di vincolo interno.

Alle difficoltà "interne" alla struttura si associa il fatto che spesso sia stata oggetto nella sua storia solitamente piuttosto lunga di rimaneggiamenti e trasformazioni che ne hanno modificato le strutture in termini di conformazione geometrica, materiali e carichi.

Spesso, inoltre, tali edifici sorgono all'interno dei centri storici in cui non vi è una chiara autonomia strutturale rendendo difficoltosa l'identificazione dei confini spaziali e dei vincoli della struttura nonché la scala di modellazione.

Come guida per la modellazione spaziale non si può prescindere dalla preliminare fase anamnestica composta almeno da indagine storica, rilievo geometrico, strutturale, materico, dei degradi e dissesti presenti, indagini diagnostiche.

Dal punto di vista teorico le modellazioni possibili si distinguono a seconda della scala applicata in micromodelli e macromodelli ai fini della presente tesi si considerano maggiormente aderenti al tipo di analisi indagata i secondi, nel seguito si riporta un accenno teorico.

### **Micromodelli**

I micromodelli o modelli a due materiali sono quei modelli che tengono delle caratteristiche del comportamento della muratura esposte in precedenza.

La discretizzazione che viene operata del sistema nella fase di modellazione segue l'effettiva geometria del sistema adottando modelli costitutivi diversi per i blocchi e per i giunti; risulta particolarmente delicata la modellazione di questi ultimi dato che gli scorrimenti proprio in corrispondenza di essi determina l'attivazione e la propagazione delle fessure.

In questo approccio, blocchi e malta sono rappresentati con elementi continui, mentre l'interfaccia blocco-malta è rappresentata attraverso elementi discreti.

Questo tipo di approccio si scontra con la realtà progettuale, spesso l'onere computazionale supera l'effettivo beneficio dovuto ad un'analisi di dettaglio soprattutto per quanto riguarda le strutture storiche che si compongono di diversi corpi strutturali e nelle quali identificare l'effettiva distribuzione interna dei paramenti murari comporterebbe indagini eccessivamente costose ed invasive.

### **Macromodelli**

Per poter analizzare costruzioni complesse è necessario ricorrere a modelli semplificati che siano in grado di cogliere con sufficiente approssimazione il comportamento dei pannelli murari ovvero di macroelementi che siano in grado di descrivere la risposta della struttura.

Pur nella varietà di tipologie di macromodelli è possibile riconoscere una base comune che risiede nell'osservazione sperimentale degli effetti dei sismi sull'esistente.

All'interno dei macromodelli è possibile definire i seguenti modelli:

#### 1) Modelli basati sull'analisi limite

Nei modelli basati sull'analisi limite si procede al calcolo del meccanismo che si ritiene provochi il collasso della struttura e del relativo carico di collasso.

In tali modelli cui peraltro fa riferimento il calcolo dei meccanismi locali, ci si riconduce allo studio dell'equilibrio e della cinematica dei corpi rigidi senza entrare nel merito della deformabilità della struttura.

#### 2) Modelli di tipo bidimensionale

La modellazione di tipo bidimensionale è caratterizzato dall'assumere un comportamento monolatero del materiale ovvero si assume che il materiale muratura abbia resistenza a trazione nulla modificando la geometria dell'elemento in modo da eliminare le zone di trazione oppure mediante un'opportuna formulazione del campo degli sforzi interno al pannello.

Nelle zone compresse vengono mantenute relazioni di tipo elastico-lineare; per poter tener conto del raggiungimento del limite a rottura dei pannelli è necessario effettuare verifiche che controllino che le tensioni presenti non superino i valori del collasso raggiunto il quale l'analisi si ferma.

### 3) Modelli di tipo monodimensionale

Nei modelli monodimensionali si assume che gli elementi che formano i pannelli murari possano essere schematizzati mediante aste quindi elementi monodimensionali.

In letteratura sono stati studiati fondamentalmente due tipi di modelli: i modelli a puntone equivalente, in cui la porzione reagente del pannello murario si schematizza mediante una biella in cui rigidezza ed inclinazione riproducono il comportamento del pannello, la crisi giunge per raggiungimento di una configurazione limite di equilibrio o per rottura a compressione del puntone.

L'altra parte di modelli con elementi monodimensionali prevede l'uso di elementi trave con possibilità di deformazione a taglio; sono stati proposti sia elementi a rigidezza variabile che elementi che presentano una fase elastica cui segue una plastica, in questo caso il comportamento non lineare viene raggiunto dal conseguimento di una condizione limite di resistenza.

Nella presente tesi vengono analizzati due programmi di calcolo commerciali tra i più diffusi per l'analisi delle strutture in muratura 3muri della STA Data e PCM distribuito dalla Aedes software, entrambi basati sulla formazione di un telaio equivalente, il primo programma lavora su una modellazione bidimensionale il secondo su una di tipo monodimensionale che prevede l'uso di elementi trave con possibilità di deformazione a taglio e pressoflessione.

#### Il modello a telaio equivalente

Un edificio in muratura può essere schematizzato mediante elementi beam (aste) o bidimensionali non lineari a plasticità concentrata deformabili sia a flessione che a taglio collegati da nodi a costruire un reticolo ad elementi finiti.

La modellazione a telaio equivalente che si può applicare anche a strutture di tipo misto simulando l'interazione tra i diversi materiali.

L'obiettivo è la valutazione in termini di risposta globale dell'edificio, tale meccanismo si sviluppa ancorché siano stati scongiurati meccanismi definiti di I modo mediante l'inserimento ove mancanti di efficaci presidi quali ad esempio catene, ...

Il pannello murario viene scomposto in aste verticali che simulano i maschi murari ed elementi orizzontali che rappresentano le fasce di piano; i diversi telai sono connessi da diaframmi orizzontali al fine di rappresentare adeguatamente le distribuzioni di massa e rigidezza effettive.

Al fine di modellare gli elementi nodo, supposti infinitamente rigidi e resistenti, si introducono tratti rigidi alle estremità degli elementi maschio e fascia; negli edifici è, quindi, possibile riconoscere tre elementi strutturali:

- 1) Il maschio murario;
- 2) Le fasce di piano;
- 3) Le zone nodali rigide.

Le pareti formate da maschi che si intersecano vengono scomposte in maschi a sezione rettangolare.

È possibile rappresentare il buon ammorsamento fra maschi ortogonali e quindi garantire la continuità degli spostamenti verticali dei muri impostando a livello dei solai offset rigidi.

Ai maschi murari ed alle fasce di piano vengono attribuiti i meccanismi resistenti precedentemente esposti nel Paragrafo.

Nel caso in esame il modello a telaio equivalente viene unito al calcolo FEM di cui si riporta una breve introduzione.

### Metodo FEM- Breve excursus

Il metodo degli elementi finiti (FEM) è una generalizzazione del metodo matriciale degli spostamenti utilizzato nell'analisi strutturale.

Il concetto alla base del metodo è quello di scomporre la struttura in elementi discreti interconnessi da un numero finito di nodi.

Per poter descrivere una struttura mediante un numero finito di elementi si utilizza la discretizzazione; ovvero la scelta di un numero finito di elementi il cui assemblaggio dia luogo alla struttura reale.

Il metodo degli elementi finiti si basa sui seguenti concetti:

- 1) In piccole regioni del continuo è possibile definire funzioni di spostamento che ne descrivono lo stato di deformazione;
- 2) La combinazione delle soluzioni determinate per ogni porzione del continuo danno luogo alla soluzione della struttura reale.

Nei programmi FEM gli spostamenti dei nodi, che possono includere sia le componenti traslazionali che quelle rotazionali e costituiscono i gradi di libertà, sono le incognite principali dell'analisi.

Nei modelli monodimensionali, gli elementi finiti sono costituiti dalle aste, mentre i nodi rappresentano le connessioni fra le aste.

Imponendo l'equilibrio di ogni nodo, le matrici di rigidezza dei singoli elementi sono assemblate in un unico sistema di equazioni lineari che viene risolto rispetto agli spostamenti nodali incogniti fornendo le deformazioni e le sollecitazioni relative ad ogni singolo elemento. I movimenti dei nodi che, come già ricordato, rappresentano le incognite dell'analisi, rappresentano le deformazioni della struttura.

Sintetizzando il metodo degli elementi finiti prevede le seguenti fasi:

- 1) Schematizzazione della struttura mediante nodi ed elementi;
- 2) Creazione della matrice di rigidezza di ogni singolo elemento;
- 3) Assemblaggio e risoluzione del sistema lineare di equazioni di equilibrio globale ottenuto dalla seguente equazione:

$$F = u \cdot K$$

Dove:

- a) F è il vettore delle azioni nodali esterne;
- b) u è il vettore degli spostamenti incogniti;
- c) K è la matrice delle rigidezze globale.

Poiché si tratta del metodo degli spostamenti, il numero delle incognite è tanto minore quanto più le strutture sono vincolate, ossia tanto maggiore quanto più elevato è il numero di movimenti indipendenti.

Il grado di vincolo degli elementi dipende dai reali vincoli tra gli elementi strutturali che la costruzione reale è in grado di offrire come ad esempio impalcato rigido o meno, adeguata connessione tra le murature negli spigoli, ...

L'equazione precedente, illustrativa di una diretta proporzionalità tra forza e spostamento, funziona finché la struttura permane in campo elastico

Quando la struttura esce dal campo elastico la funzione rigidezza diventa, a sua volta, funzione dello spostamento e la formulazione precedente evolve in:

$$F = u \cdot K(u)$$

A seguito del collasso degli elementi cambiano i vincoli interni e di conseguenza la sua rigidezza.

Si opera, quindi, aumentando progressivamente le forze orizzontali, ad ogni incremento si ricalcola la rigidezza, si dà quindi luogo ad un procedimento iterativo

Si ottiene una curva di capacità, ovvero un diagramma forza- spostamento, che rappresenta una caratteristica intrinseca della struttura legata alla sua capacità resistente. Ottenuta la curva di capacità si esegue il confronto con l'azione sismica di progetto.

## **PARTE SECONDA: CASI STUDIO E SCELTE OPERATIVE**

---



## 6 CASI STUDIO

---

“Il nodo del problema metodologico risiede proprio nell' inadeguatezza di tale concezione strettamente tecnicistica del restauro statico e cioè della settorialità con la quale il consolidamento risulta spesso considerato quale operazione distinta e separabile dal restauro architettonico vero e proprio”

Renato Bonelli<sup>41</sup>,

---

<sup>41</sup> Renato Bonelli, in S. Boscarino, A. Cangelosi, R. Prescia, (a cura di), *Sul restauro architettonico. Saggi e note*, Franco Angeli, Milano, 1999, p.77

## CASI STUDIO

Diverse sono le ragioni che hanno spinto ad intraprendere questa analisi, la prima e forse la più evidente è da ricondurre al diffondersi, in particolare in questo momento di crisi del settore edilizio, della necessità di affrontare il recupero dell'esistente; non secondaria rimane l'osservazione legata ai vincoli normativi, in particolare l'OPCM 3274/2003, che hanno imposto ai proprietari, siano essi pubbliche Amministrazioni o privati, l'effettuazione di analisi di vulnerabilità di edifici di interesse strategico e di opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso; permane, inoltre, la necessità di preservare gli edifici lasciti del passato in particolare quelli che abbiano valore storico, artistico e testimoniale; quelle enunciate sono ottime ragioni che hanno spinto la nascita di questo elaborato.

La convivenza tra funzioni strategiche e conservazione di edifici nati senza l'obbligo di rispettare regole stringenti come le attuali risulta il punto cruciale e per poter intervenire come già ricordato è necessario conoscere.

La scelta di quali software utilizzare è caduta su due dei più diffusi entrambi operanti mediante telaio equivalente.

La modellazione a telaio equivalente per quanto si possa ritenere una semplificazione molto spinta della realtà meccanica di un edificio in muratura è stato dimostrato anche mediante raffronto con modelli molto raffinati che coglie in maniera adeguata il comportamento della struttura a fronte di un onere computazionale contenuto proponendosi come un metodo utilizzabile non solo in ambito di ricerca ma anche in ambito professionale.

Solitamente negli studi professionali si è diffusa l'abitudine di acquistare un programma di calcolo e di utilizzarlo acriticamente spesso senza averne un effettivo controllo dei risultati, per ovviare a questa problematica si è deciso di raffrontare due dei software commerciali per l'analisi di edifici in muratura e misti più diffusi ovvero Aedes PCM e 3 muri.

Entrambi i software lavorano mediante modellazione a telaio equivalente, nonostante questa affermazione faccia ritenere che siano piuttosto simili le modalità operative risultano piuttosto diverse: in prima battuta l'aspetto più evidente che li differenzia è legato proprio alla modellazione a telaio proposta, se in entrambi i casi il paramento murario viene scomposto mediante 3 elementi fondamentali:

- 1) Maschi murari;
- 2) Fasce di piano;
- 3) Elementi rigidi.

I maschi murari e le fasce di piano sono gli elementi in cui si concentrano deformabilità e danneggiamento come è possibile verificare osservando i danni su edifici reali provocati dai terremoti; le restanti porzioni di parete sono definiti come elementi rigidi.

La modellazione tridimensionale avviene mediante l'assemblaggio di telai piani, le pareti composte da maschi intersecanti vengono scomposte in maschi a semplice sezione rettangolare, analogamente a quanto previsto dai metodi POR; la continuità dei maschi viene garantita a livello dei solai dalla presenza di offset rigidi che simulano il buon ammassamento dei paramenti murari confluenti.

Le singole pareti vengono modellate come telai piani:

- 1) in 3muri maschi e fasce vengono modellati come macroelementi finiti bidimensionali alle estremità degli elementi si collocano due nodi con tre gradi di libertà per nodo (spostamento in x, e in z, rotazione attorno all'asse y, con gli assi x e z a determinare il piano in cui si trova l'elemento e l'asse y uscente dal piano, si tratta, quindi, di nodi bidimensionali) e due gradi di libertà aggiuntivi interni.
- 2) in Aedes come aste monodimensionali ai cui estremi sono posti due nodi ciascuno dei quali presenta 6 gradi di libertà, tali gradi verranno ridotti a 5 in fase di calcolo poiché viene soppressa la rotazione;

in entrambi i casi alle estremità degli elementi si collocano due nodi con tre gradi di libertà per nodo (spostamento in x, e in z, rotazione attorno all'asse y, con gli assi x e z a determinare il piano in cui si trova l'elemento e l'asse y uscente dal piano, si tratta, quindi, di nodi bidimensionali) e due gradi di libertà aggiuntivi interni.

I macroelementi, che risultano connessi tra loro mediante nodi rigidi bidimensionali, trasmettono ad ognuno dei nodi cui sono legati le azioni lungo i 3 gradi di libertà del piano.

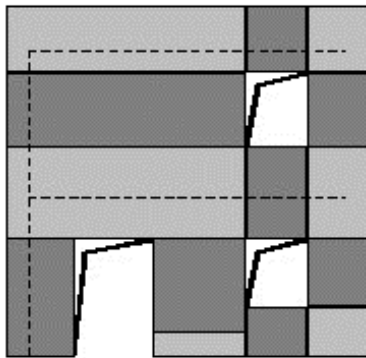


Figura 6-1. Schematizzazione di una parete muraria tratta dal manuale d'uso del programma 3muri.

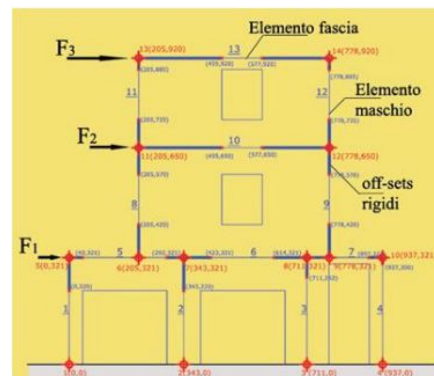


Figura 6-2. Schematizzazione di una parete muraria tratta dal manuale d'uso del programma Aedes PCM

Il passaggio tra la modellazione della singola parete e la struttura nelle tre dimensioni avviene assemblando il modello proposto per le pareti nel loro piano a quello proposto per i solai che vengono modellati mediante comportamento membranale, il modello dell'edificio assume, così, masse e rigidezze su tutti i gradi di libertà delle tre dimensioni

Nel modello tridimensionale si avranno nodi dovuti all'intersezione di due maschi tra loro ortogonali, tali nodi non saranno generalmente collocati in posizione baricentrica rispetto ai maschi murari che li determinano, si pensi ad esempio alle murature perimetrali, in tali casi il nodo generato dall'intersezione e quello appartenente al singolo maschio saranno collegati mediante links rigidi, tale operazione avviene nel medesimo modo in entrambi i software indagati.

In 3muri, il calcolo del comportamento delle pareti nel loro piano viene disgiunto automaticamente dal calcolo della risposta locale fuori dal piano pertanto il modello tridimensionale opera tenendo conto, localmente, dei soli gradi di libertà nel piano; anche in Aedes viene offerta tale possibilità, generalmente il programma propone tuttavia una modellazione in cui i nodi permettono la rotazione fuori dal piano determinando un valore della rigidezza inferiore al precedente; tale differenza viene indagata all'interno della presente tesi.

L'assemblaggio delle diverse pareti tra loro avviene in entrambi i software riconducendo al sistema globale di coordinate (X, Y, Z) il sistema locale di coordinate (xi, yi, zi) che forma un angolo  $\theta$  con l'asse X globale, che identifica univocamente ogni parete e a cui sono riferite le proprietà del macroelemento che mantiene così il suo comportamento precedentemente definito e non necessita di essere riformulato.

Tali nodi determinati dall'intersezione di diversi elementi hanno, quindi, 5 gradi di libertà corrispondenti alle tre traslazioni ed alle rotazioni intorno ad x ed y, in entrambi i softwares i nodi presentano il grado di libertà rotazionale intorno a z soppresso poiché non sono connessi ad elementi in grado di fornire rigidezza rotazionale locale,

In entrambi i softwares per determinare le componenti del nodo bidimensionale fittizio appartenente alla singola parete si utilizzano le formule seguenti:

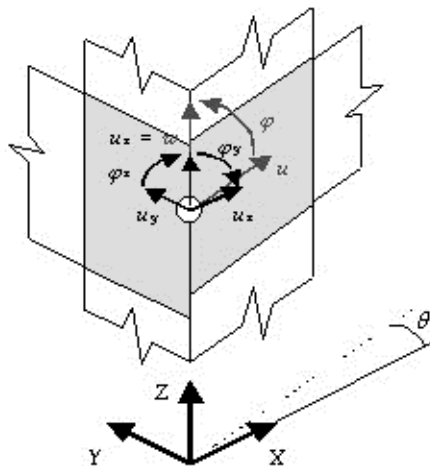


Figura 6-3. Schematizzazione di un nodo 3d tratta dal manuale d'uso del programma 3muri.

$$\begin{cases} u = u_x \cdot \cos\theta + u_y \cdot \sin\theta \\ w = u_z \\ \varphi = -\varphi_y \cdot \cos\theta + \varphi_x \cdot \sin\theta \end{cases}$$

In cui  $u_x, u_y, u_z, \varphi_x, \varphi_y$  sono i 5 gradi di libertà del nodo tridimensionale e  $u, w, \varphi$  sono le componenti del nodo fittizio bidimensionale appartenente alla singola parete il cui sistema locale è ruotato di un angolo  $\theta$  rispetto all'asse  $x$  globale.

In modo analogo si scompongono le sollecitazioni applicate ai nodi tridimensionali secondo il piano medi in cui si sviluppano le pareti in modo da determinare le azioni sollecitanti i macroelementi nel loro piano di appartenenza.

I macroelementi trasmettono ai nodi fittizi bidimensionali le reazioni, dai nodi fittizi esse vengono ricondotte nel sistema globale secondo le seguenti formule.

$$\begin{cases} F_x = F_k^1 \cdot \cos\theta_1 + F_k^2 \cdot \cos\theta_2 \\ F_y = F_k^1 \cdot \sin\theta_1 + F_k^2 \cdot \sin\theta_2 \\ F_z = F_z^1 + F_z^2 \\ M_x = M^1 \cdot \sin\theta_1 + M^2 \cdot \sin\theta_2 \\ M_y = -M^1 \cdot \cos\theta_1 - M^2 \cdot \cos\theta_2 \end{cases}$$

In cui:

- 1)  $F_k^1$  è la forza riferita al primo pannello che ha direzione orizzontale ruotata di un angolo  $\theta_1$  rispetto all'asse  $x$  del sistema globale;
- 2)  $F_k^2$  è la forza riferita al primo pannello che ha direzione orizzontale ruotata di un angolo  $\theta_2$  rispetto all'asse  $x$  del sistema globale;
- 3)  $F_z^1$  è la forza riferita al primo pannello che ha direzione verticale;
- 4)  $F_z^2$  è la forza riferita al primo pannello che ha direzione verticale;
- 5)  $M^1$  è il momento riferito al primo pannello;
- 6)  $M^2$  è il momento riferito al secondo pannello. Per i macroelementi considerati si sono svolte le verifiche a pressoflessione e taglio per fessurazione diagonale come indicato nelle NTC2008 per gli edifici esistenti, le verifiche avvengono in termini di drift di piano, i valori limite per lo stato limite di salvaguardi della vita umana (SLV) sono pari a 0.4% per l'altezza del pannello per taglio e 0.6% per pressoflessione (C8.7.1.4); tali limiti sono definiti al netto degli spostamenti dovuti ad un eventuale moto rigido del pannello ad esempio conseguente al moto rigido della base. Il drift del pannello ovvero la sua deformazione angolare (chord rotation) è formato da due contributi: il primo dovuto allo spostamento reciproco delle due facce del tratto centrale, il secondo dovuto alla rotazione mutua dei due nodi posti alle estremità degli elementi soggetti a pressoflessione i due programmi schematizzano il pannello in modo diverso: 3muri scompone l'elemento in tre parti, le parti terminali di dimensioni infinitesime possono rompersi a pressoflessione generando una rotazione tra le due facce che formano tale porzione di elemento, la parte centrale è soggetta a taglio e nel deformarsi è ammessa una traslazione dei punti appartenenti alle facce, Aedes considera un unico componente avente alla deformazione riportata nel seguito

Nel seguito si riportano le schematizzazioni proposte dai due programmi tratte dai rispettivi manuali di supporto, si noti l'analogia del calcolo proposto pur con le diverse schematizzazioni teoriche.

In 3muri lo spostamento ultimo è calcolato come segue<sup>42</sup>, la prima aliquota è la componente determinata dal taglio, la seconda dalla pressoflessione complanare

$$\delta = \frac{u_j + u_i}{h} + \frac{\varphi_i - \varphi_j}{2}$$

E il drift totale è pari a

$$\frac{\Delta_m}{h_m}$$

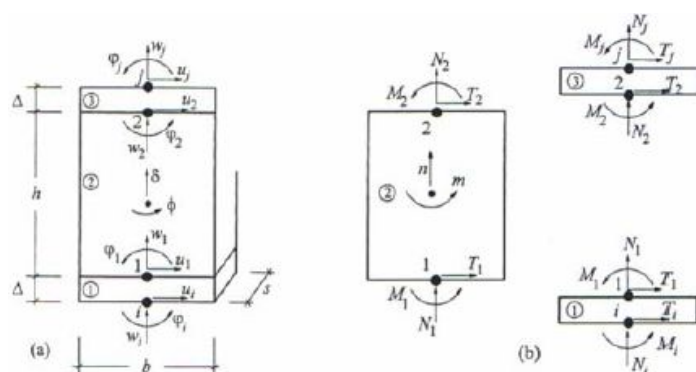


Figura 4\_Schematizzazione del maschio murario<sup>43</sup> tratta dal manuale d'uso di 3muri

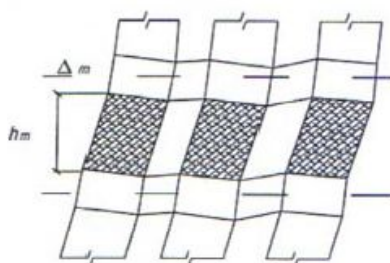


Figura 5\_Schematizzazione del drift di piano tratta dal manuale d'uso di 3muri

In Aedes  $\gamma$  è la componente dovuta alla pressoflessione  $\varphi_i$  quella dovuta al taglio calcolate in analogia al metodo espresso in precedenza per 3muri.

<sup>42</sup> Lagomarsino S., Penna A., Galasco A., Cattari S., Tremuri program: An equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings, Engineering Structures 56, 2013, pp. 1787-1799

<sup>43</sup> Penna A., Cattari S., Galasco A., Lagomarsino S., Seismic Assessment of Masonry Structures by Non-linear Macro-element Analysis, IV International Seminar on Structural Analysis of Historical Construction-Possibilities of Numerical and Experimental Techniques, Padova, 2004, Vol. 2, pp. 1157-1164

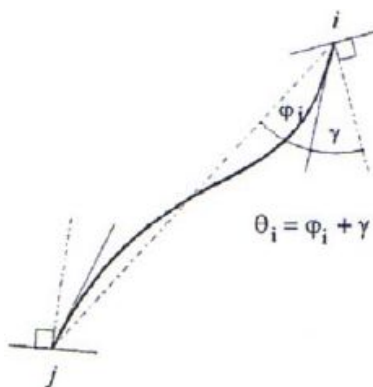


Figura 6\_Chord rotation tratta dal manuale d'uso di Aedes PCM

### 6.1 IPOTESI INDAGATE

Come già detto nella premessa esiste una differenza legata al vincolamento proposto per i nodi tra i due softwares analizzati: se all'interno di 3muri è il programma a fornire un vincolamento univoco dei nodi del telaio obbligati a deformarsi nel piano; in Aedes è possibile scegliere tra diversi vincolamenti, i problemi che ci si sono affrontati sono i seguenti:

- 1) Verificare che i due programmi sotto il medesimo vincolamento fornissero una risposta univoca o meno imponendo in entrambi che i pannelli si deformino solo nel piano di appartenenza;
- 2) Determinare le differenze all'interno di Aedes PCM nella modellazione con nodi piani e quella con nodi in cui la rotazione fuori dal piano non è stata soppressa.

Si riporta, in tabella le due schematizzazioni indagate in Aedes, nella prima i nodi i nodi delle fasce di piano sono vincolati come segue:

	Nodi appartenenti ai maschi	Nodi appartenenti alle fasce in direzione x	Nodi appartenenti alle fasce in direzione y
Traslazione in x	Impedita	Impedita	Impedita
Traslazione in y	Impedita	Impedita	Impedita
Traslazione in z	Libera	Libera	Libera
Rotazione in x	Libera	Impedita	Libera
Rotazione in y	Libera	Libera	Impedita
Rotazione in z	Impedita	Impedita	Impedita

nella seconda ipotesi il vincolamento è il seguente:

	Nodi appartenenti ai maschi	Nodi appartenenti alle fasce in direzione x	Nodi appartenenti alle fasce in direzione y
Traslazione in x	Impedita	Impedita	Impedita
Traslazione in y	Impedita	Impedita	Impedita
Traslazione in z	Libera	Libera	Libera
Rotazione in x	Libera	Libera	Libera
Rotazione in y	Libera	Libera	Libera
Rotazione in z	Impedita	Impedita	Impedita

Sono state, inoltre, indagate due possibili configurazioni per le zone rigide:

- 1) Zone rigide coincidenti con le zone di intersezioni maschi- fasce;
- 2) Zone rigide corrispondenti ad una diffusione della zona flessibile a 30° a partire dagli spigoli delle aperture comprese nei pannelli.

Abbinando le due ipotesi per le fasce di piano alle due inerenti al vincolamento si ottengono quattro possibili configurazioni.

Le analisi svolte sono state analisi statiche non lineari considerando due distribuzioni di forze d'inerzia ricadenti l'una nelle distribuzioni principali (Gruppo 1) e le altre nelle distribuzioni secondarie (Gruppo2), in particolare sono state adottate le distribuzioni seguenti, così come previsto al Punto C8.7.14 della Circolare n°617/2009:

- 1) Gruppo 1: distribuzione proporzionale alle forze statiche;
- 2) Gruppo 2: distribuzione uniforme delle forze da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione

I periodi propri ed i modi di vibrare nonché le masse partecipanti ottenuti in analisi pushover sono stati, inoltre, confrontati con i valori emersi dall'analisi modale.

I parametri di riferimento giudicati rilevanti per l'analisi pushover sui quali sono stati forniti i raffronti sono i seguenti:

- 1) Taglio alla base
- 2) Capacità della struttura in termini di spostamento;
- 3)  $q^*$  ovvero il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente;
- 4)  $T^*$  ovvero il periodo elastico della costruzione;
- 5)  $m^*$  ovvero la massa partecipante al modo;
- 6)  $\Gamma$  ovvero il fattore di partecipazione modale definito al Punto C7.3.4.1 della Circolare esplicativa;
- 7)  $k^*$  rigidezza del tratto elastico della bilineare;
- 8)  $F_y^*$  forza di snervamento del sistema equivalente;
- 9)  $dy^*$  è lo spostamento corrispondente alla forza di plasticizzazione  $F_y^*$

- 10)  $du^*$  è lo spostamento ultimo del sistema bilineare equivalente;
- 11) Energia dissipata ovvero l'area sottesa dal grafico della bilineare equivalente;
- così come definiti al Punto C7.3.4.1 della Circolare esplicativa.

## 6.2 EDIFICIO PROTOTIPO

Il primo caso analizzato è una struttura definita prototipo regolare in pianta e composta da un solo piano; le dimensioni misurate sull'asse dei paramenti murari sono pari a 5m x5m, all'interno la struttura è stata ulteriormente suddivisa da due paramenti sugli assi di simmetria dei muri esterni per fare in modo che esista un nodo "fisico" coincidente con il baricentro della struttura.

L'esigenza di ricreare "fisicamente" il nodo è dovuta alla mancanza in 3 muri della possibilità di adottare come nodo di controllo il baricentro della struttura, nel modo esposto in precedenza si è ovviato a tale problema permettendo di raffrontare i valori ottenuti per le variabili di interesse dei due programmi riferendosi al medesimo punto poiché, come è noto, l'analisi pushover risente in maniera notevole della scelta del punto di controllo.

### 6.2.1 Descrizione della struttura

#### 1) Materiali

L'analisi viene condotta, inoltre, riferendosi in entrambi i casi ad una muratura in mattoni pieni e malta di calce con un livello di conoscenza LC pari a 1, che impone di fare riferimento ai valori minimi per la resistenza media a compressione e per la resistenza media a taglio ed ai valori medi per i moduli di elasticità normale e tangenziale proposti dalla norma con riferimento alla Tabella C8A.2.1 delle NTC2008, si assumono quindi:

Muratura in mattoni pieni e malta di calce				
$f_m$	$T_0$	E	G	w
[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]
240	6.0	1500	500	18

Si è assunto un comportamento della muratura che fa riferimento ad un diagramma tensione-deformazione con andamento parabola- rettangolo in cui i valori della deformazione di inizio del tratto plastico e della deformazione ultima rispettivamente  $\epsilon_{m2}$  e  $\epsilon_{mu}$  sono pari rispettivamente al 2% ed al 3.5% in accordo con l'Eurocodice 6.

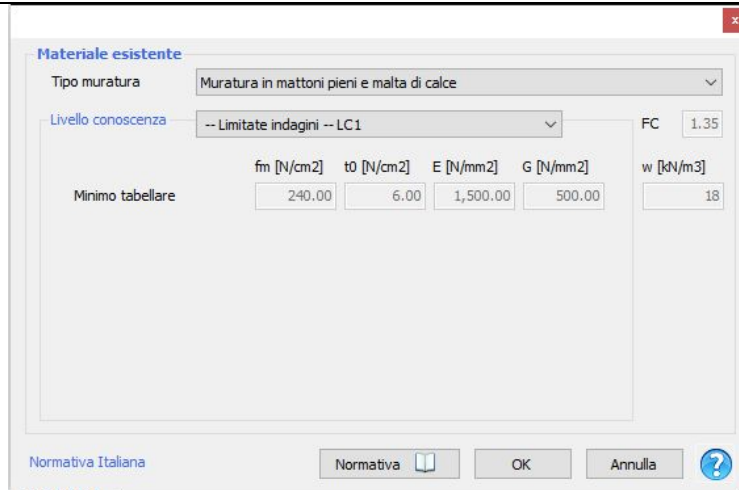


Figura 7 Identificazione del materiale\_3 muri

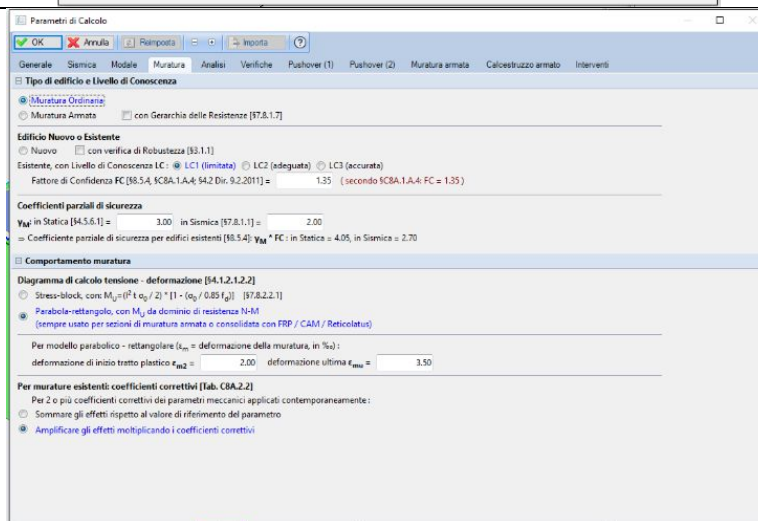
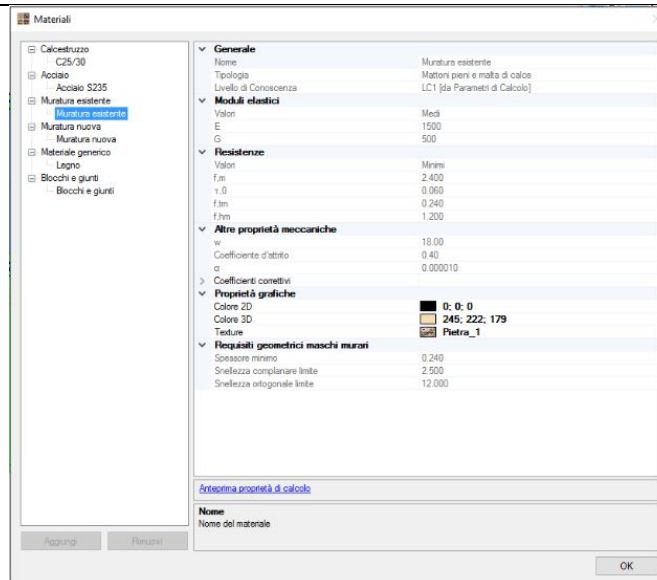
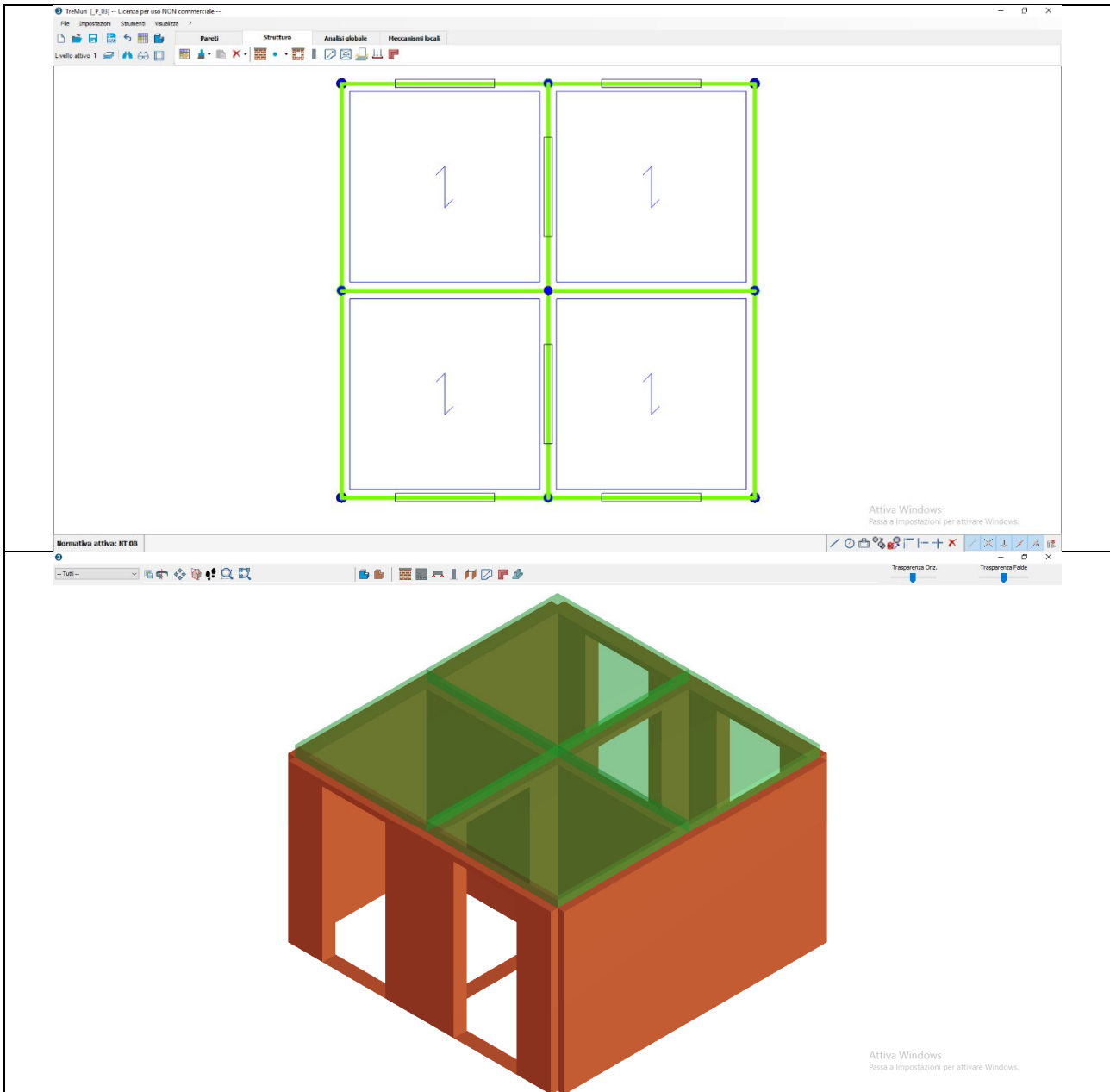


Figura 8 Identificazione del materiale\_Aedes PCM

## 2) Carichi e combinazioni

Si assume come già enunciato un modello aventi dimensioni 5x5m; i solai sono considerati infinitamente rigidi ed hanno un carico dovuto al peso proprio  $G_1$  pari a 300daN/m<sup>2</sup> e un carico variabile dovuto alla destinazione d'uso  $Q$  pari a 200 daN/m<sup>2</sup> con un coefficiente di combinazione  $\Psi_2$  pari a 0.3 per la combinazione sismica.



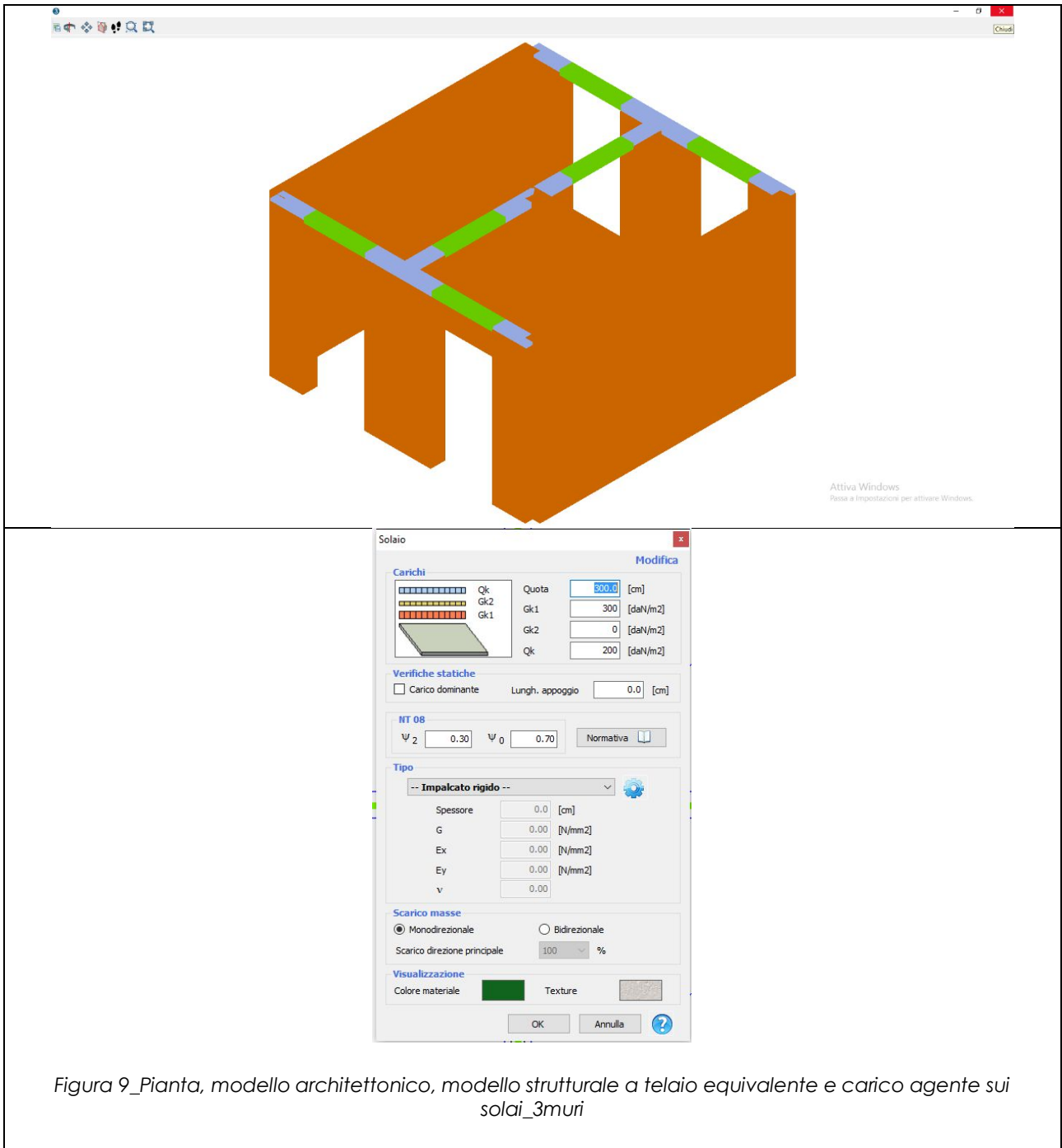
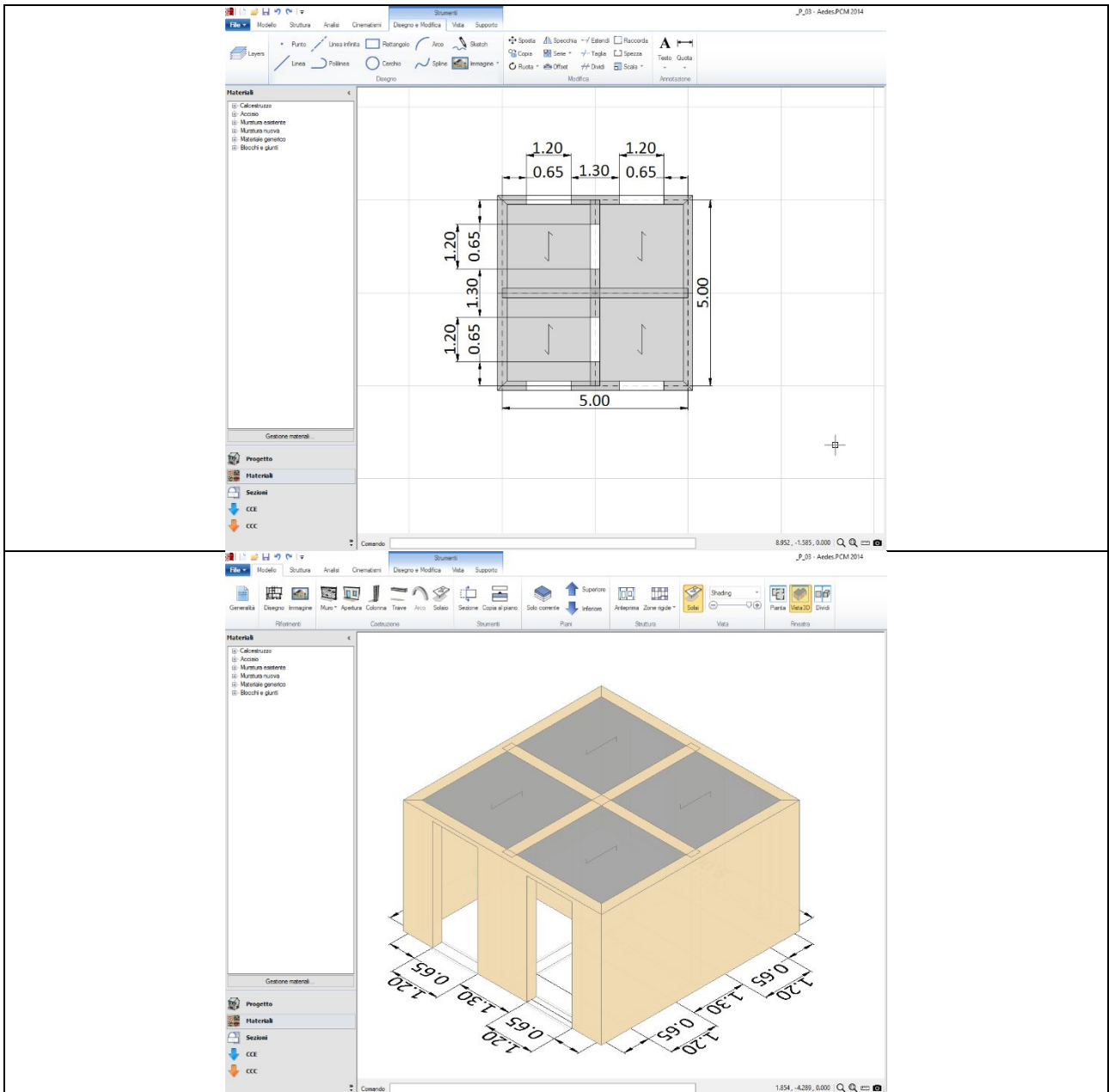
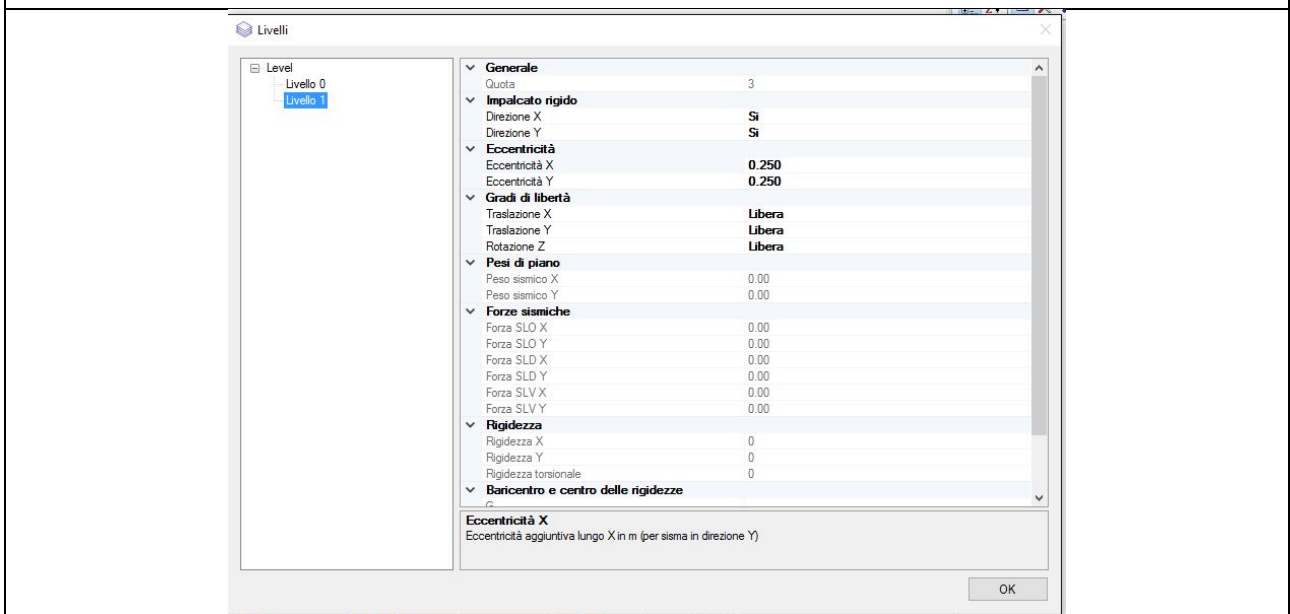
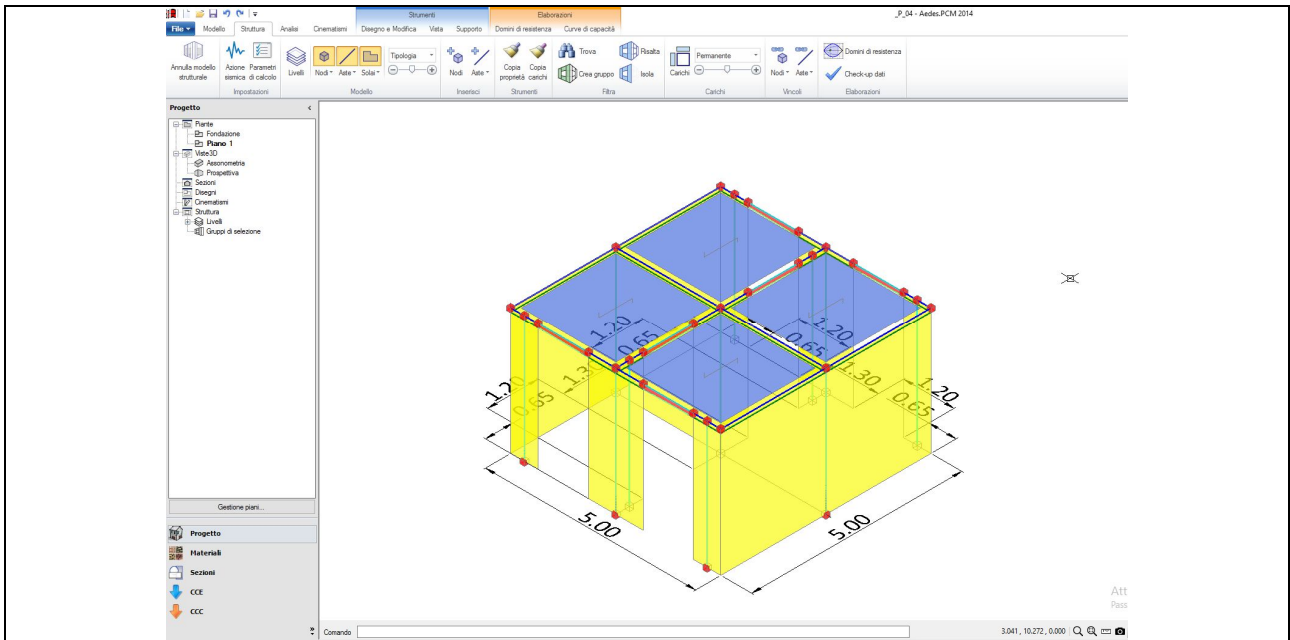
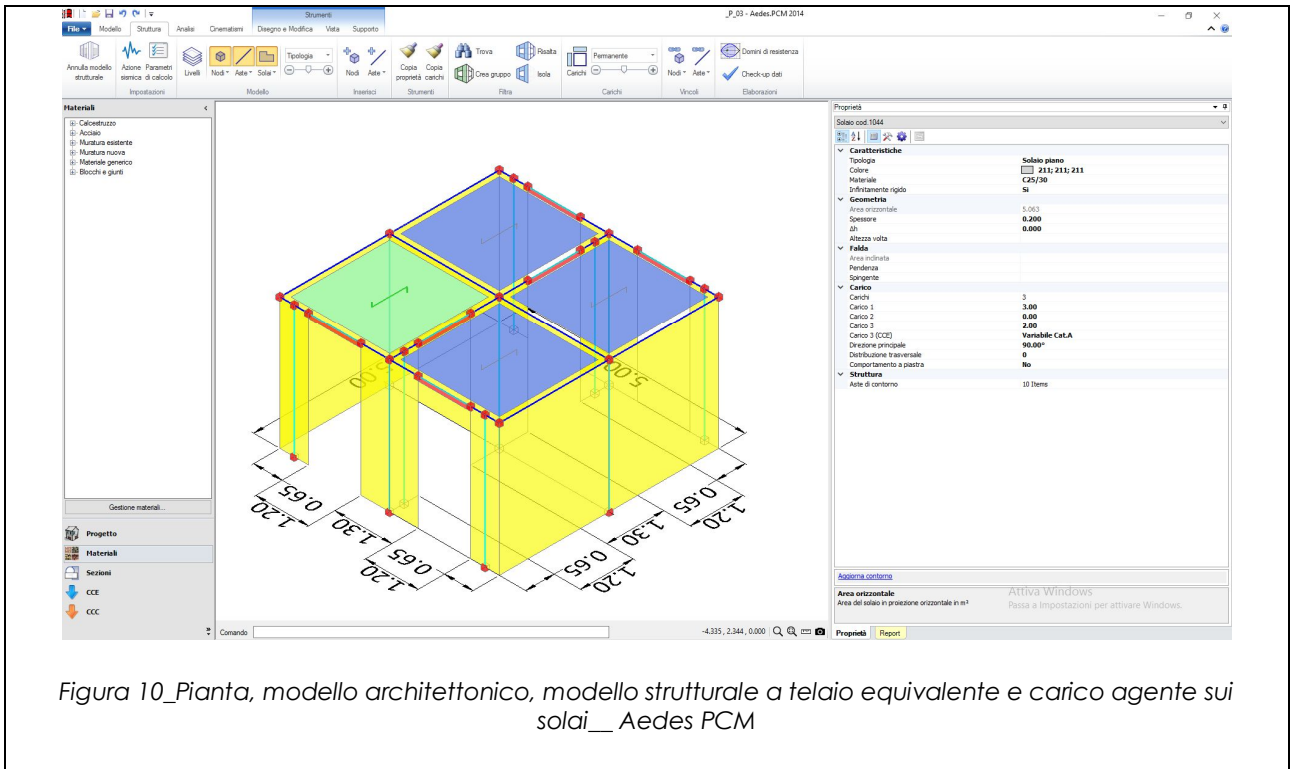


Figura 9\_Pianta, modello architettonico, modello strutturale a telaio equivalente e carico agente sui solai\_3muri







### 3) Sisma sollecitante

Si è scelto di ipotizzare che la struttura si trovi a Parma, abbia una vita nominale  $V_N$  pari a 50anni, un coefficiente d'uso  $C_U$  pari a 1.0 (classe d'uso della costruzione: II, affollamenti normali) determinando la vita di riferimento come segue  $V_R=1.5*50=75$  anni.

Si è fatto riferimento allo Stato Limite di Salvaguardi della Vita Umana, ipotizzando di avere a che fare con un edificio esistente.

Si sono ipotizzati i seguenti parametri per il terreno: categoria di sottosuolo: C, categoria topografica: T1.

Si è riscontrato, come evidenziato in Tabella, che i due programmi forniscono i dati di base con i quali calcolare lo spettro lievemente diversi, si riporta il paragone in tabella, confrontando i valori dei softwares con i dati forniti da Spettri.

Tabella 15\_Raffronto dei parametri di input sismico

		<b>3muri</b>	<b>Aedes</b>	<b>Spettri NTC</b>
$a_g$	[g]	0.148	0.140	0.140
	[m/s <sup>2</sup> ]	1.450	1.373	1.373
S		1.480	1.493	1.930
S <sub>s</sub>		1.480	1.493	1.93
S <sub>T</sub>		1	1	1
F <sub>0</sub>		2.470	2.460	2.463
C <sub>C</sub>		1.593	1.593	1.592
T <sub>B</sub>	[s]	0.159	0.150	0.15
T <sub>C</sub>	[s]	0.478	0.451	0.451
T <sub>D</sub>	[s]	2.191	2.160	2.16
T <sub>C</sub> *	[s]	0.300	0.283	0.283
$\mu$		1	1	1
$\xi$		5	5	5
g	[m/s <sup>2</sup> ]	9.806		

Nelle immagini a seguire viene riportata la determinazione input sismico in 3muri, Aedes PCM e Spettri NTC.

**a. 3muri**

The image displays two screenshots from a software application used for seismic input determination.

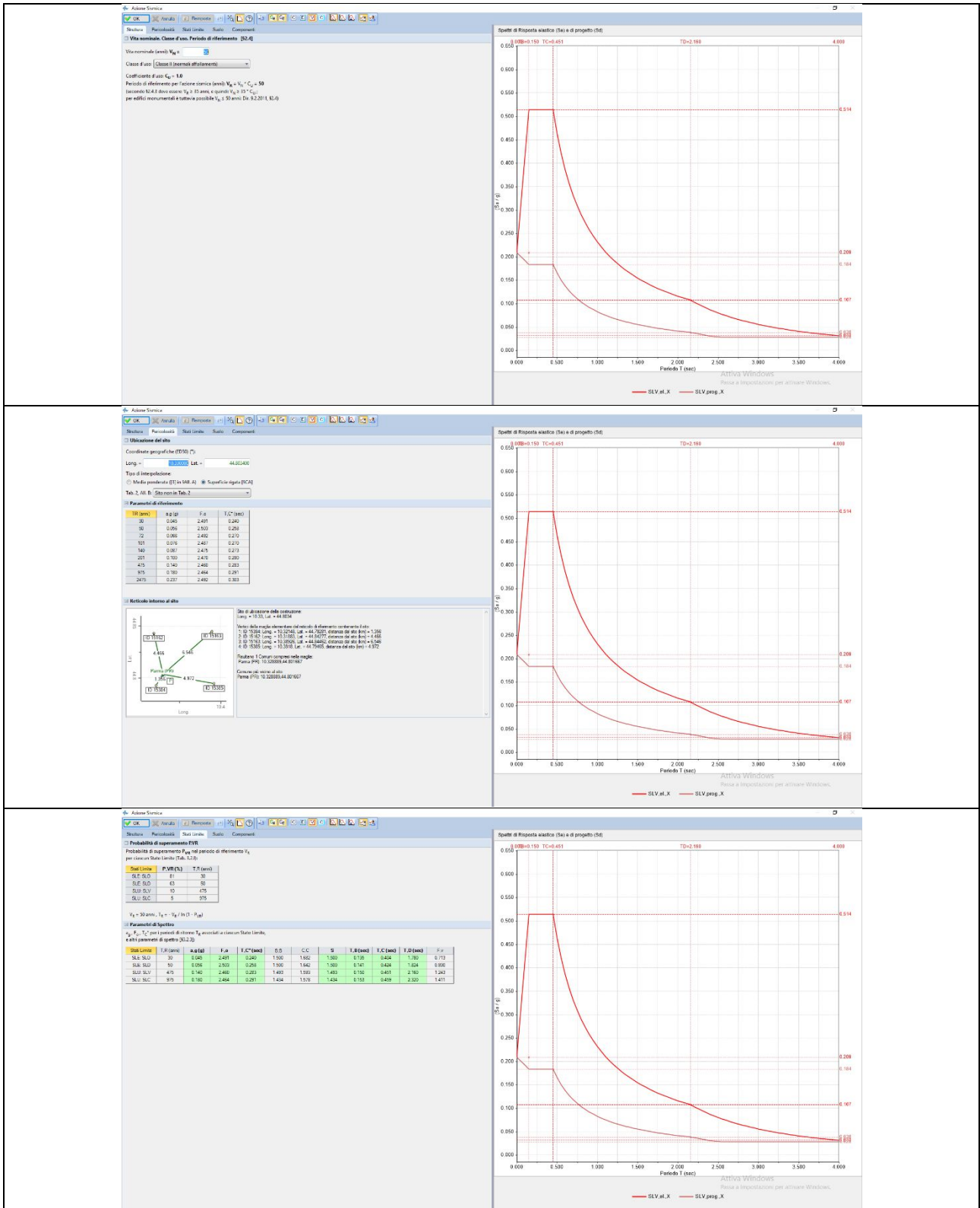
**Left Screenshot: Parametri del sito**

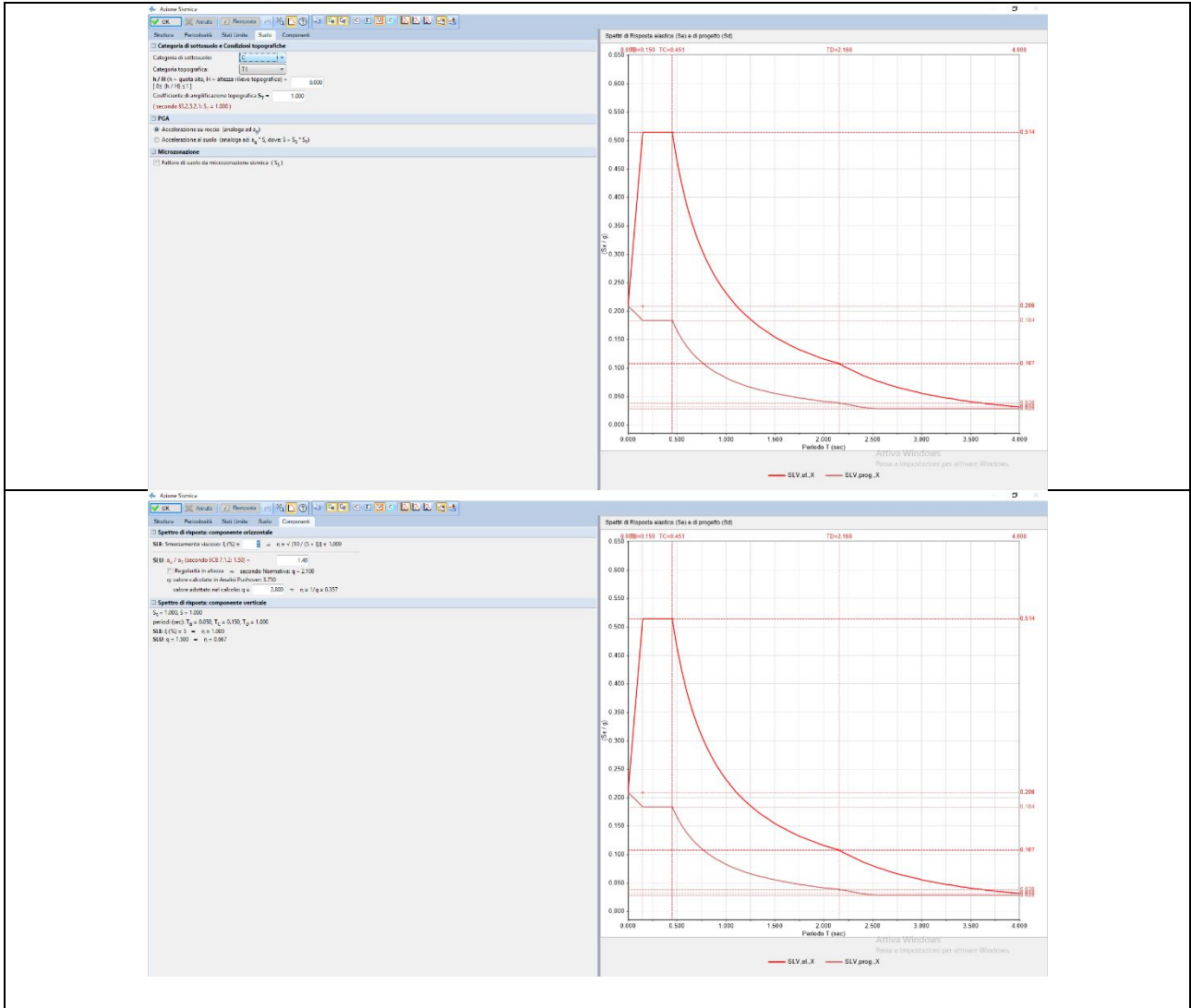
- Parametri del sito:** Città: Parma - PR; Longitudine: 10.33; Latitudine: 44.8034; Vita nominale: Opere ordinarie VN >= 50 anni; Classi d'uso: II - Edifici ordinari, industrie non pericolose, ponti secondari.
- Parametri di pericolosità sismica:** A table with columns SLV, SLD, and SLO. Values:  $a_g$  (1.348, 0.545, 0.435), F<sub>0</sub> (2.47, 2.51, 2.5), T $\xi$  (0.29, 0.26, 0.24), T<sub>R</sub> (475, 50, 30).

**Right Screenshot: Azione sismica**

- NT 08:** Parametri di pericolosità sismica. A table with columns SLV, SLD, and SLO. Values: a (1.450, 0.610, 0.503), F<sub>0</sub> (2.47, 2.56, 2.54), T<sub>C</sub>\* (0.29, 0.27, 0.26), T<sub>R</sub> (475, 50, 30).
- Classe suolo:** C. A table with columns SLV, SLD, and SLO. Values: S<sub>S</sub> (1.48, 1.50, 1.50), T<sub>B</sub> (0.15, 0.15, 0.14), T<sub>C</sub> (0.46, 0.44, 0.43), T<sub>D</sub> (2.19, 1.85, 1.81).
- Categoria topografica:** T1, S<sub>T</sub> = 1.0.

**b. Aedes PCM**





**c. Spettri NTC**

**INTRO**

D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

## Spettri di risposta ver. 1.0.3

Il documento Excel SPETTRI-NTC fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte dell'utente:

**FASE 1** Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1 - INGV);  
**FASE 2** Scelta della strategia di progettazione;  
**FASE 3** Determinazione dell'azione di progetto.

La schermata relativa a ciascuna fase è suddivisa in sotto-schermate: l'utente può intervenire nelle sotto-schermate con sfondo grigio scuro mentre quelle con sfondo grigio chiaro consentono un immediato controllo grafico delle scelte effettuate. In ogni singola fase l'utente può visualizzare e stampare i risultati delle elaborazioni -in forma sia grafica che numerica- nonché i relativi riferimenti alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n.29 del 04.02.2008 Suppl. Ord. n.30 e scaricabile dal sito [www.csp.it](http://www.csp.it)

Programma ottimizzato per una visualizzazione schermo 1024 x 768

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_n$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_u$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_d$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$   info

Stati limite di esercizio - SLE: SLO -  $P_{va} = 81\%$   info  
 SLD -  $P_{va} = 63\%$   info  
 Stati limite ultimi - SLU: SLV -  $P_{va} = 10\%$   info  
 SLC -  $P_{va} = 5\%$   info

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

---o--- Strategia per costruzioni ordinarie

---o--- Strategia scelta

Strategia di progettazione

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite:SLV

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	
$S_d$	0.440 g
$F_d$	2.453
$T_d$	0.283 s
$S_p$	1.493
$C_d$	1.592
$S_T$	1.000
$q$	1.000

Parametri dipendenti	
$S$	1.493
$\eta$	1.000
$T_R$	0.150 s
$T_d$	0.451 s
$T_0$	2.160 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_d \cdot S_T$  (MTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10 \cdot (\frac{T}{T_d})} \geq 0.55; \eta \leq 1; q$  (MTC-08 Eq. 3.2.6; 3.2.3.5)

$T_R = T_d / 3$  (MTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_d = C_d \cdot T_R$  (MTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_0 = 4,0 \cdot a_d \cdot |g| + 1,6$  (MTC-07 Eq. 3.2.3)

**Espressioni dello spettro di risposta (MTC-08 Eq. 3.2.4)**

$0 \leq T < T_d$   $S_d(T) = a_d \cdot S \cdot \eta \cdot F_d \left( \frac{T}{T_d} + \frac{1}{\eta \cdot F_d} \left( 1 - \frac{T}{T_d} \right) \right)$

$T_d \leq T < T_R$   $S_d(T) = a_d \cdot S \cdot \eta \cdot F_d$

$T_R \leq T < T_0$   $S_d(T) = a_d \cdot S \cdot \eta \cdot F_d \left( \frac{T_R}{T} \right)$

$T_0 \leq T$   $S_d(T) = a_d \cdot S \cdot \eta \cdot F_d \left( \frac{T_R \cdot T_0}{T} \right)$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $\eta_d$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (MTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta		
$T$ [s]	$S_e$ [g]	$S_d$ [g]
0.000	0.209	0.209
0.150	0.395	0.395
0.451	0.515	0.515
0.532	0.436	0.436
0.614	0.378	0.378
0.635	0.324	0.324
0.717	0.239	0.239
0.858	0.211	0.211
0.939	0.247	0.247
1.021	0.228	0.228
1.102	0.211	0.211
1.183	0.196	0.196
1.265	0.184	0.184
1.346	0.173	0.173
1.428	0.163	0.163
1.509	0.154	0.154
1.590	0.146	0.146
1.672	0.139	0.139
1.753	0.132	0.132
1.835	0.127	0.127
1.916	0.121	0.121
1.997	0.116	0.116
2.079	0.112	0.112
2.160	0.108	0.108
2.248	0.099	0.099
2.335	0.092	0.092
2.423	0.085	0.085
2.511	0.080	0.080
2.598	0.074	0.074
2.685	0.070	0.070
2.773	0.065	0.065
2.861	0.061	0.061
2.949	0.058	0.058
3.036	0.054	0.054
3.124	0.051	0.051
3.212	0.049	0.049
3.299	0.046	0.046
3.387	0.044	0.044
3.474	0.042	0.042
3.562	0.040	0.040
3.650	0.039	0.039
3.737	0.038	0.038
3.825	0.034	0.034
3.912	0.033	0.033
4.000	0.031	0.031

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

LONGITUDINE: 10.33      LATTITUDINE: 44.8036

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

REGIONE: Emilia-Romagna      PROVINCIA: Parma      COMUNE: Parma

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza la coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

Stato Limite

Stato Limite considerato: SLV info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo: C info       $S_p = 1.493$        $C_d = 1.592$  info

Categoria topografica: T1 info       $\eta/H = 1.000$        $S_T = 1.000$  info

(Imposta sito, Altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  (%): 5       $\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_d = 3$       Regol. in altezza: no info

Compon. verticale

Spettro di progetto      Fattore  $q_v = 1.5$        $\eta = 0.667$  info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

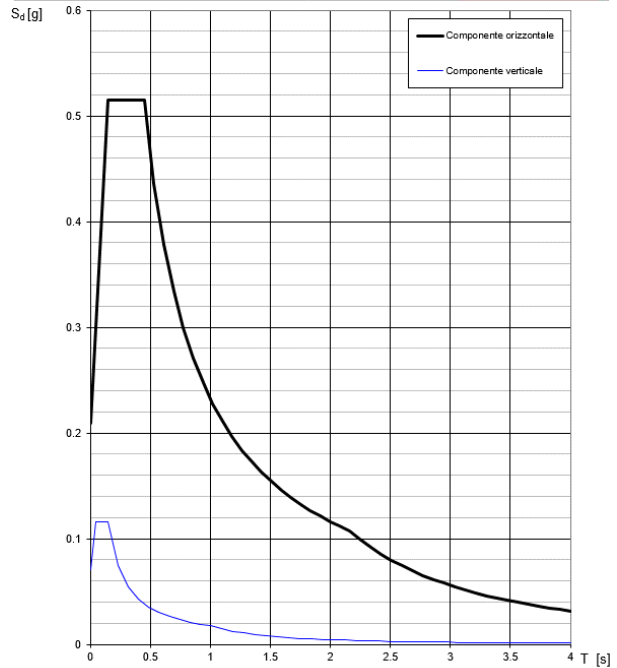
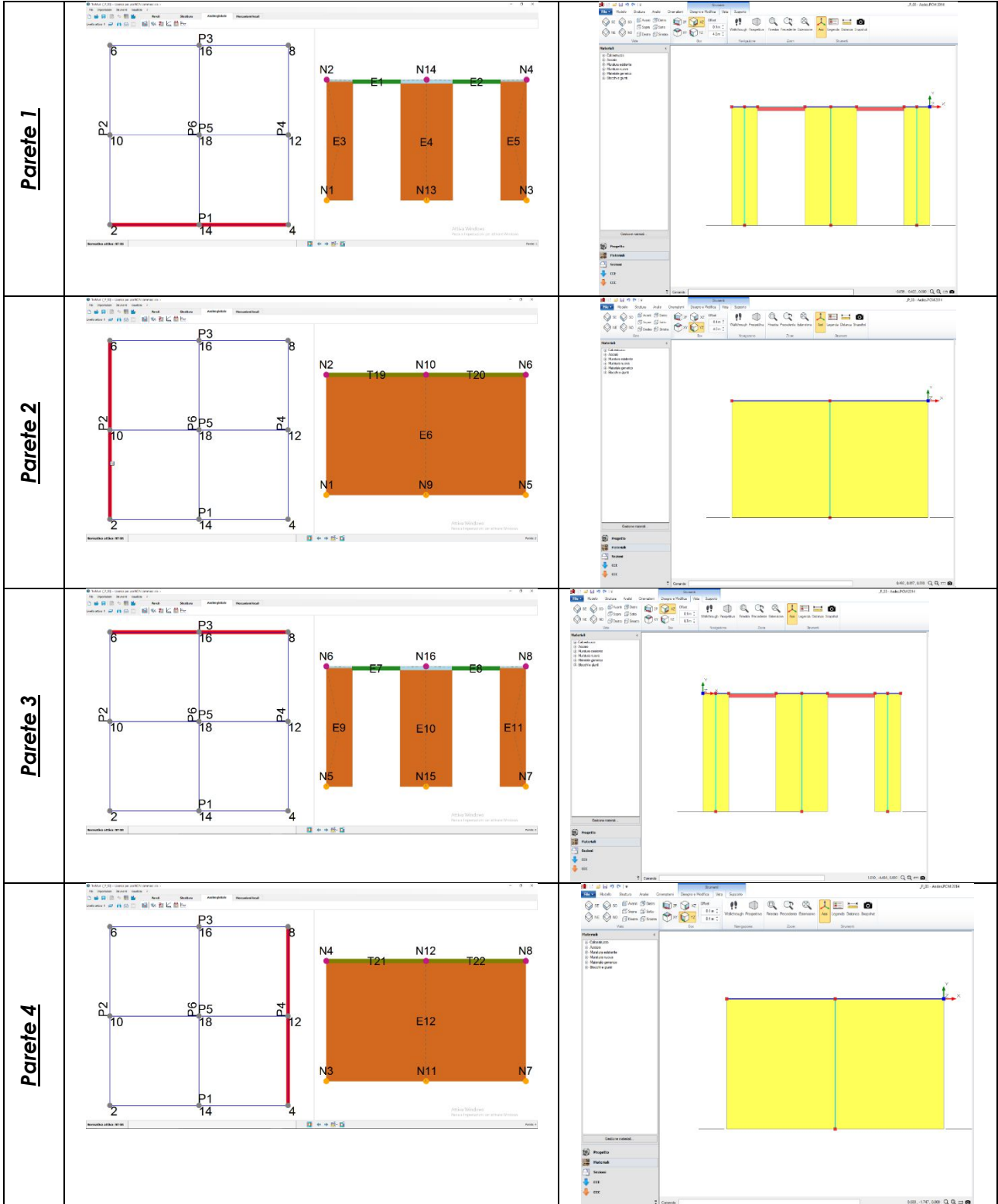
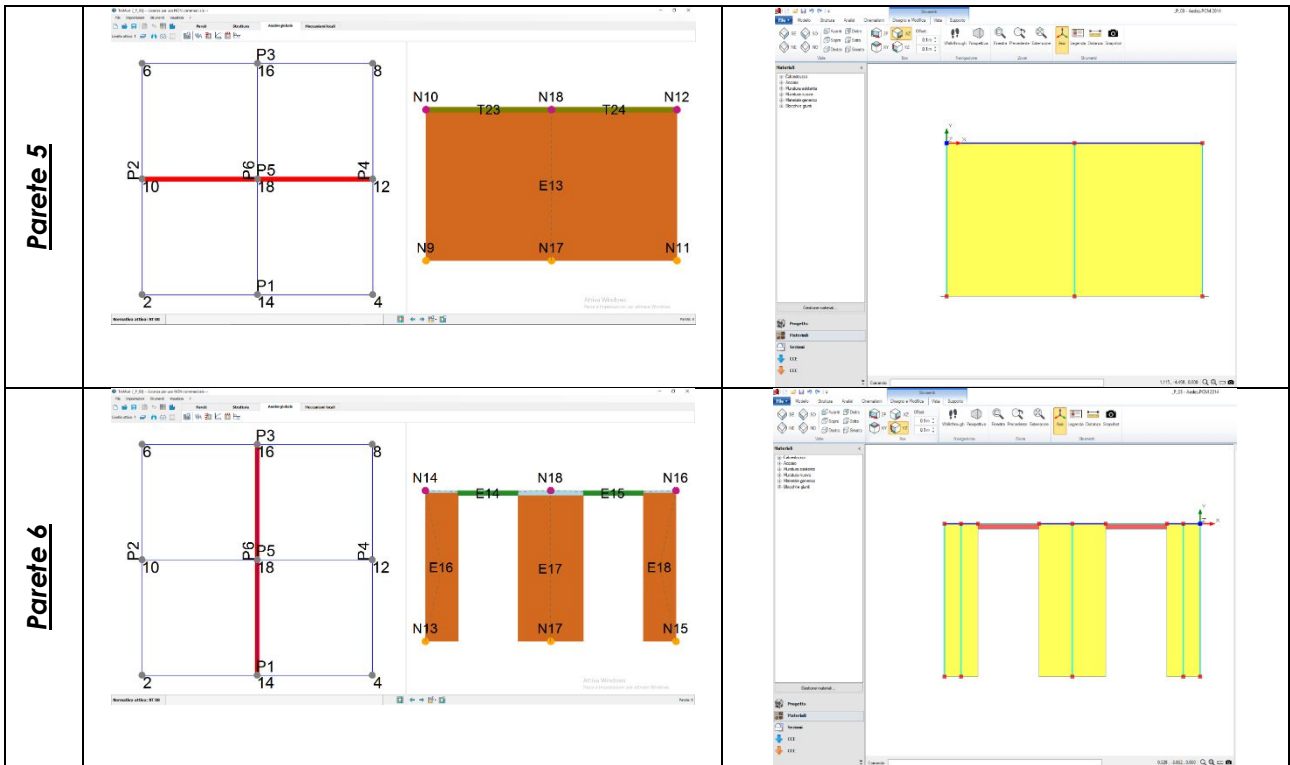


Figura 11\_Determinazione input sismico\_Spettri NTC

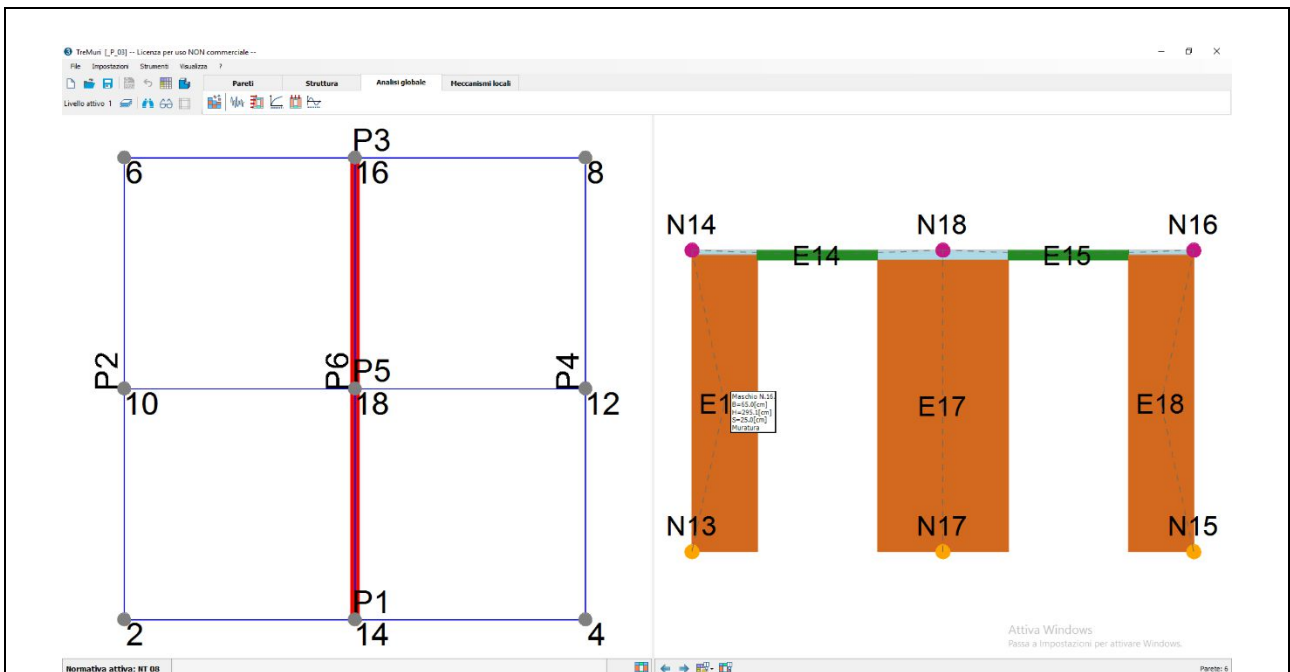
**4) Modellazione a telaio equivalente**

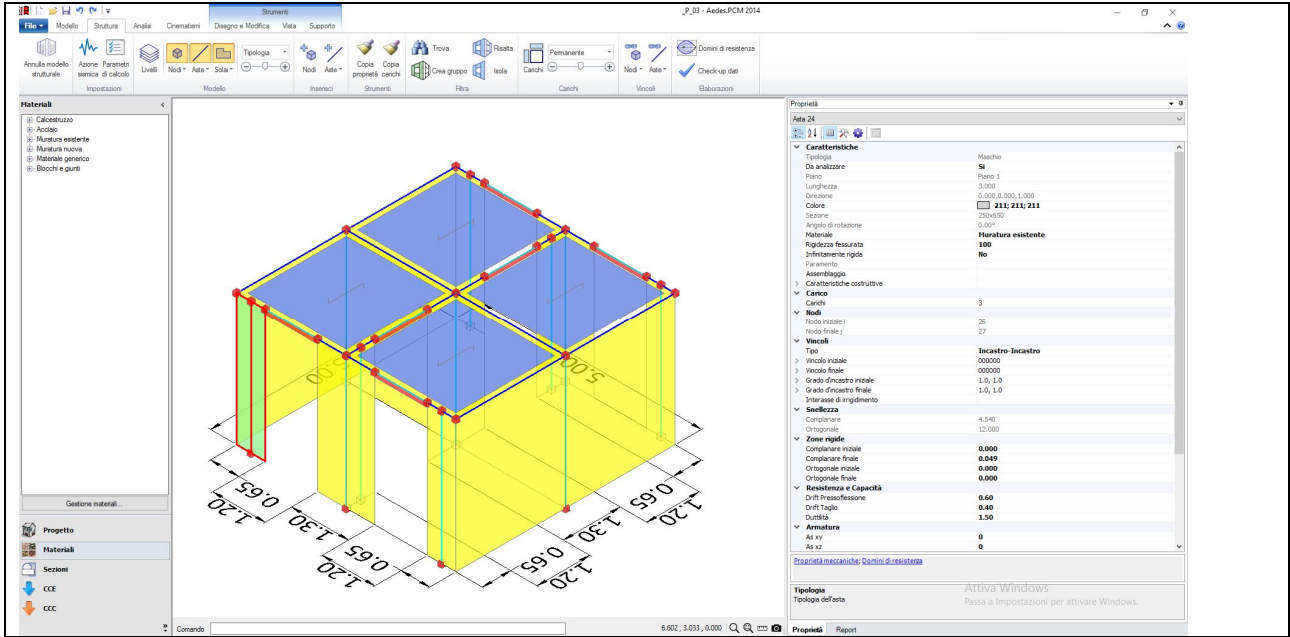
Si propone nel seguito il raffronto tra le schematizzazioni a telaio proposte dai due programmi per le diverse pareti.





Per quanto riguarda l'estensione dei tratti rigidi, l'immagine successiva mostra che i maschi murari esterni nelle pareti con aperture hanno un'altezza deformabile pari a 295.1cm e di conseguenza un tratto rigido pari a 4.9cm, tale condizione viene riproposta anche in Aedes PCM.





Per quanto riguarda i solai vi è da tenere in conto che in Aedes PCM sono definiti internamente alle pareti (con esclusione dello spessore della parete), in 3 muri sono vincolati sugli assi quindi tra i due c'è una differenza pari a metà dello spessore del paramento murario per ogni dimensioni lineare.

Si riportano le considerazioni di controllo dei dati.

Si riportano i valori del peso della struttura desunti dall'analisi modale di Aedes PCM ed i valori ottenuti da 3muri.

Massa m,X generatrice totale = 39.150 (k\*kgm) (peso: 383.93 kN) - Baricentro = (2.500,2.500,1.797)

Dettaglio verifiche

**Verifica SLV**  
 Dmax 0.09 [cm] <= Du 0.34 [cm]  
 q\* 1.13 <= 3 Du/Dmax = 3.78  
 La verifica è soddisfatta

**Verifica SLD**  
 Dmax 0.02 [cm] <= Dd 0.08 [cm]  
 La verifica è soddisfatta  
 Valore limite per raggiungimento Valore di Picco

**Verifica SLO**  
 Dmax 0.02 [cm] <= Do 0.08 [cm]  
 La verifica è soddisfatta

**Vulnerabilità Sismica**

	TR C	TR D	α TR	PGA C [m/s <sup>2</sup> ]	PGA D [m/s <sup>2</sup> ]	α PGA
SLV	> 2475	475	> 5.211	2.55	1.45	1.757
SLD	455	50	9.100	1.37	0.61	2.248
SLO	455	30	15.167	1.34	0.50	2.664

Mostra PGA su roccia

Parametri di Analisi

T* [s]	0.077
m* [kg]	25360.701
w [kg]	40574.7
m*/w [%]	63
Γ [m/s <sup>2</sup> ]	1
F*y [daN]	8460
d*y [cm]	0.05
d*u [cm]	0.34

Normativa | Esci

Si evidenzia mediante calcoli manuali quanto detto poc'anzi.

<b>Parete x</b>									
Maschi murari					Aperture				
	l	h	t	V	l	h	t	N° aperture	V
	[m]	[m]	[m]	[m³]	[m]	[m]	[m]		[m³]
1	5	3	0.25	3.75	1.2	2.9	0.25	2	1.74
2	5	3	0.25	3.75	---	---	---	---	---
3	5	3	0.25	3.75	1.2	2.9	0.25	2	1.74

<b>Parete y</b>									
Maschi murari					Aperture				
	l	h	t	V	l	h	t	N° aperture	V
	[m]	[m]	[m]	[m³]	[m]	[m]	[m]		[m³]
1	5	3	0.25	3.75	---	---	---	---	---
2	5	3	0.25	3.75	1.2	2.9	0.25	2	1.74
3	5	3	0.25	3.75	---	---	---	---	---

		Parete x	Parete y
Volume della parete al netto delle aperture	[m³]	7.77	9.51
Densità volumica della muratura	[daN/m³]	1800	1800
Peso della parete	[daN]	13986	17118

<b>Solai</b>				
Combinazione sismica			$\Psi_2$	
G <sub>1</sub>	[daN/m²]	300	1	300
Q	[daN/m²]	200	0.3	60
Combinazione sismica		[daN/m²]		360

<b>Area dei solai</b>						
	l	h	N° solai	A	Carichi per unità di sup.	Carichi
	[m]	[m]		[m²]	[daN/m²]	[daN]
3muri	2.5	2.5	4	25	360	9000
Aedes PCM	2.25	2.25	4	20.25	360	7290

<b>Pesi</b>						
	Pareti	Solai	TOT	Programma	$\Delta$	
	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[%]
3muri	31104	9000	40104	40574.7	-470.7	-0.01
Aedes PCM	31104	7290	38394	38393	1	0.00

La verifica evidenzia ed avvalora la veridicità di quanto osservato.

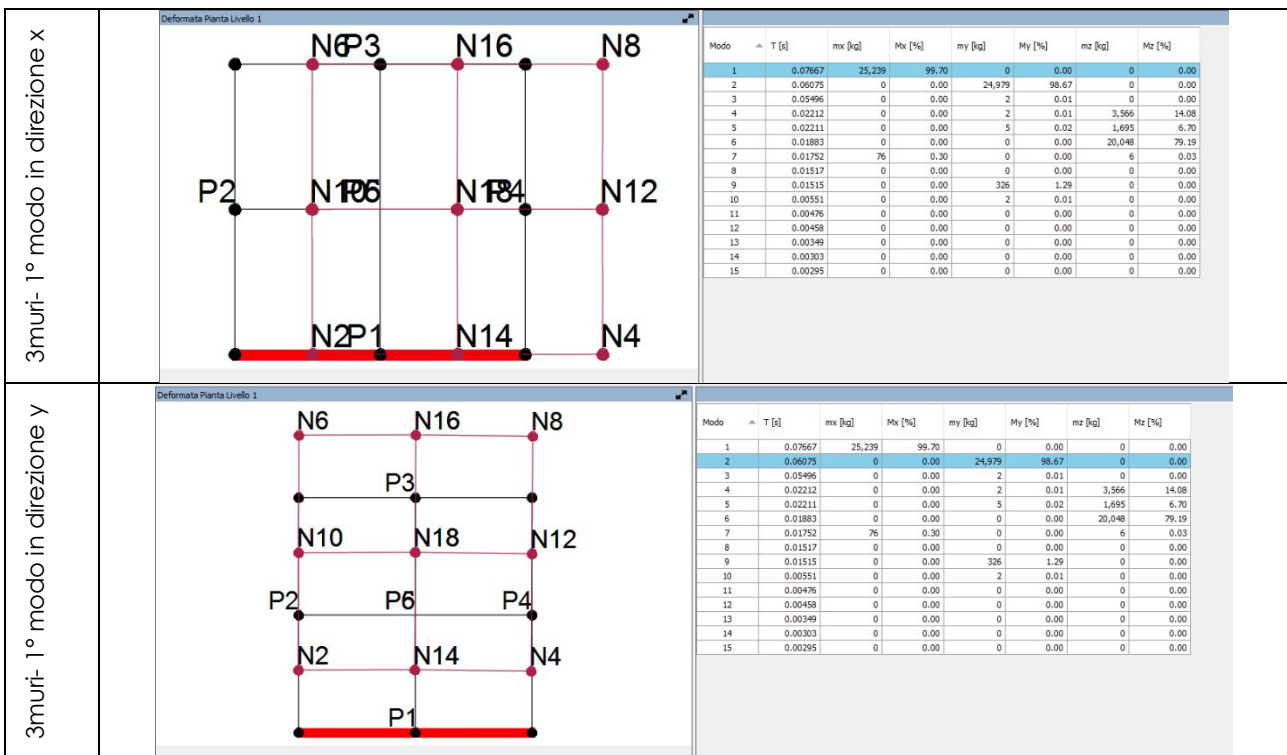
### 6.2.2 Analisi modale

Si procede al confronto tra l'analisi modale eseguita su entrambi i modelli.

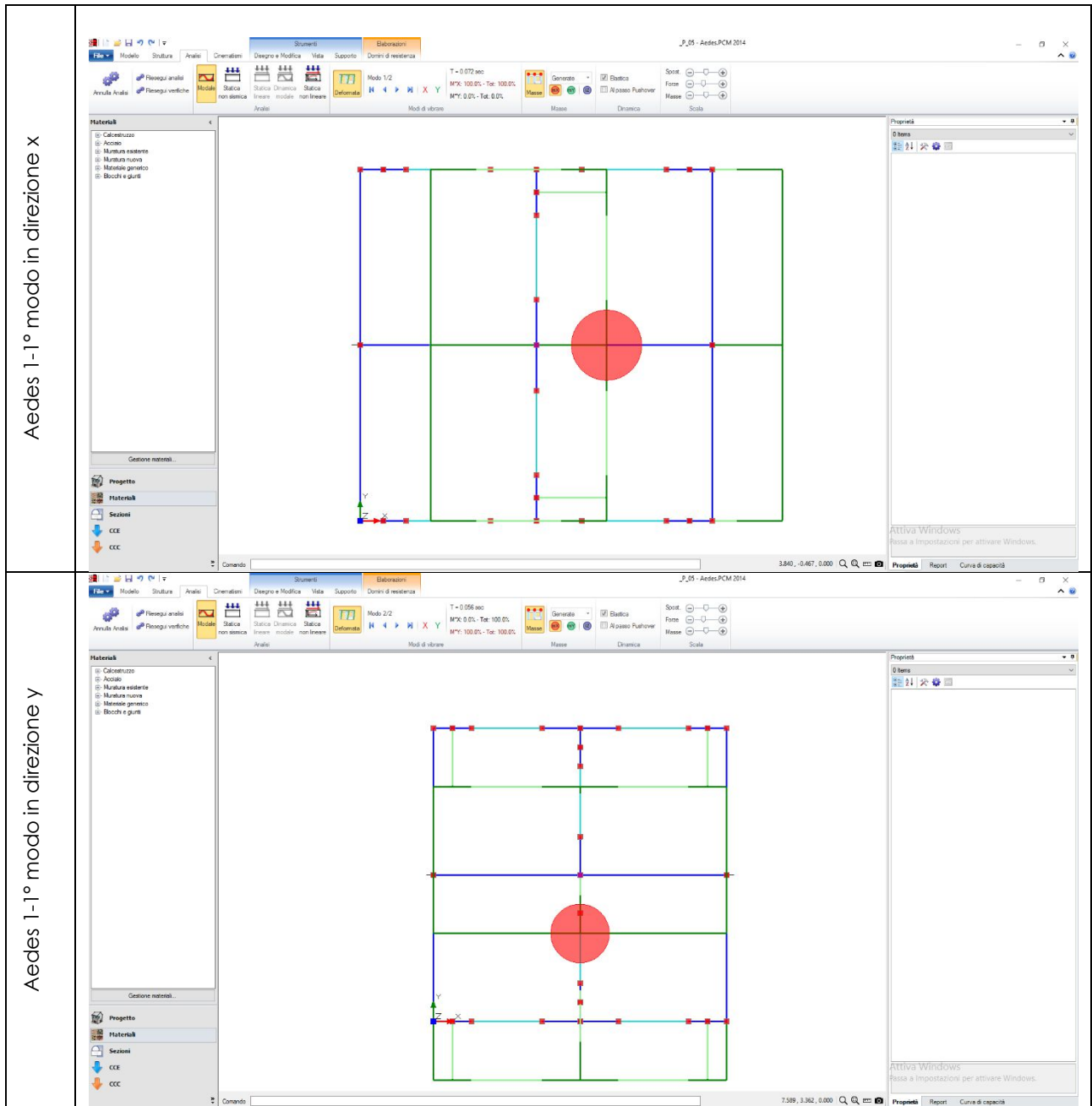
Dei valori ottenuti da 3 muri si riportano solamente quelli ottenuti per le direzioni x ed y che hanno una massa partecipante non inferiore al 5%.

Vengono proposte due diverse modellazioni in Aedes PCM, nella prima i nodi sono vincolati a muoversi nel piano di appartenenza nel secondo i nodi non hanno la rotazione fuori dal piano impedita.

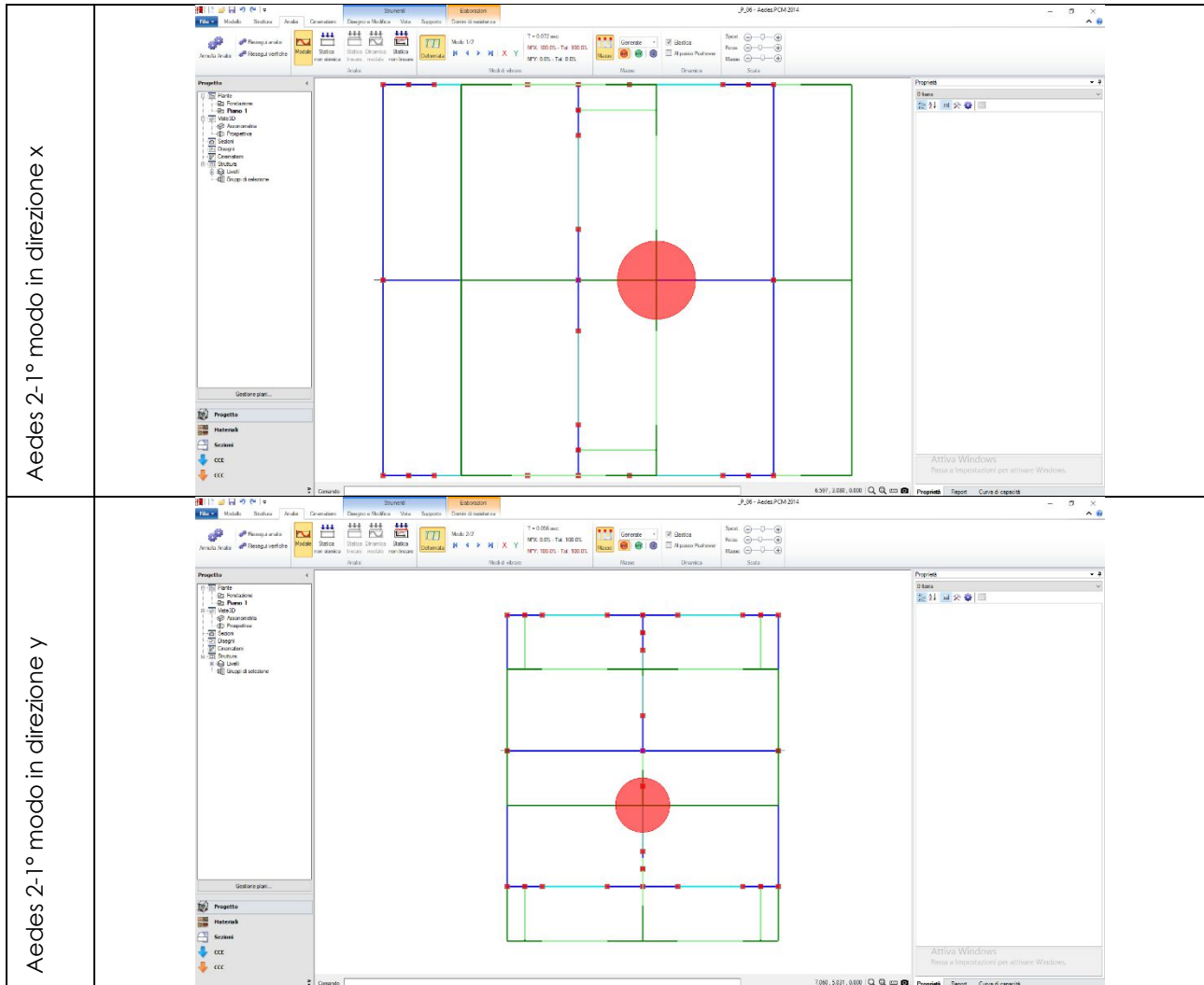
#### 1) 3muri



#### 2) Aedes- 1



### 3) Aedes-2



### 4) Comparazione

Si effettua la comparazione tra i valori ottenuti.

3 muri			
	T	Mx	My
Modo	[s]	[%]	[%]
1	0.07667	99.70	
2	0.06075		98.67

Aedes- 1			
	T	Mx	My
Modo	[s]	[%]	[%]
1	0.06600	100.00	
2	0.05200		100.00

Aedes- 2			
	T	Mx	My
Modo	[s]	[%]	[%]
1	0.07200	100.00	
2	0.05600		100.00

Differenze 3muri- Aedes- 1		
	T	
Modo	[s]	[%]
1	0.01067	13.92
2	0.00875	14.40

Differenze 3muri- Aedes- 2		
	T	
Modo	[s]	[%]
1	0.00467	6.09
2	0.00475	7.82

Entrambi i softwares restituiscono modi puramente traslazionali come lecito aspettarsi data la perfetta coincidenza tra baricentro delle masse e baricentro delle rigidezze, si ritiene che le differenze, contenute entro limiti accettabili, siano da imputare alla differenza tra le masse partecipanti ai modi dovute alla diversa schematizzazione dei solai precedentemente enunciata, si osserva, infatti che le rigidezze riconducibili alla luce deformabile dei maschi murari, alle proprietà meccaniche del materiale muratura in gioco ed al vincolamento tra gli elementi sono state restituite in maniera identica.

Si riportano i valori delle masse ottenuti.

**3muri**

Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]
1	0.07667	25,239	99.70	0	0.00	0	0.00
2	0.06075	0	0.00	24,979	98.67	0	0.00
3	0.05496	0	0.00	2	0.01	0	0.00
4	0.02212	0	0.00	2	0.01	3,566	14.08
5	0.02211	0	0.00	5	0.02	1,695	6.70
6	0.01883	0	0.00	0	0.00	20,048	79.19
7	0.01752	76	0.30	0	0.00	6	0.03
8	0.01517	0	0.00	0	0.00	0	0.00
9	0.01515	0	0.00	326	1.29	0	0.00
10	0.00551	0	0.00	2	0.01	0	0.00
11	0.00476	0	0.00	0	0.00	0	0.00
12	0.00458	0	0.00	0	0.00	0	0.00
13	0.00349	0	0.00	0	0.00	0	0.00
14	0.00303	0	0.00	0	0.00	0	0.00
15	0.00295	0	0.00	0	0.00	0	0.00

**Aedes 1**

- Masse generate (Matrice delle masse): 3

g.d.l. dinamico, nodo, massa concentrata :

1      39    m, X = 23.456 - Z = 3.000

2      39    m, Y = 23.456 - Z = 3.000

3      39    I, Z = 119.239 - Z = 3.000

Massa m, X generata totale = 23.456 (k\*kgm) (peso: 230.03 kN) - Baricentro = (2.500, 2.500, 3.000)

**Aedes 2**

- Masse generate (Matrice delle masse): 3

g.d.l. dinamico, nodo, massa concentrata :

1      39    m, X = 23.456 - Z = 3.000

2      39    m, Y = 23.456 - Z = 3.000

3      39    I, Z = 119.239 - Z = 3.000

Massa m, X generata totale = 23.456 (k\*kgm) (peso: 230.03 kN) - Baricentro = (2.500, 2.500, 3.000)

**Metodo semplificato da NTC2008**

Si evidenzia che utilizzando il metodo semplificato proposto dalla norma NTC2008 si otterrebbe il valore seguente:

C		0.05
H	[m]	3.00
T semplificato	[s]	0.11

Differenze 3muri- calcolo semplificato		
T		
Modo	[s]	[%]
1	-0.03731	-48.66
2	-0.05323	-87.61

### 6.2.3 Analisi pushover

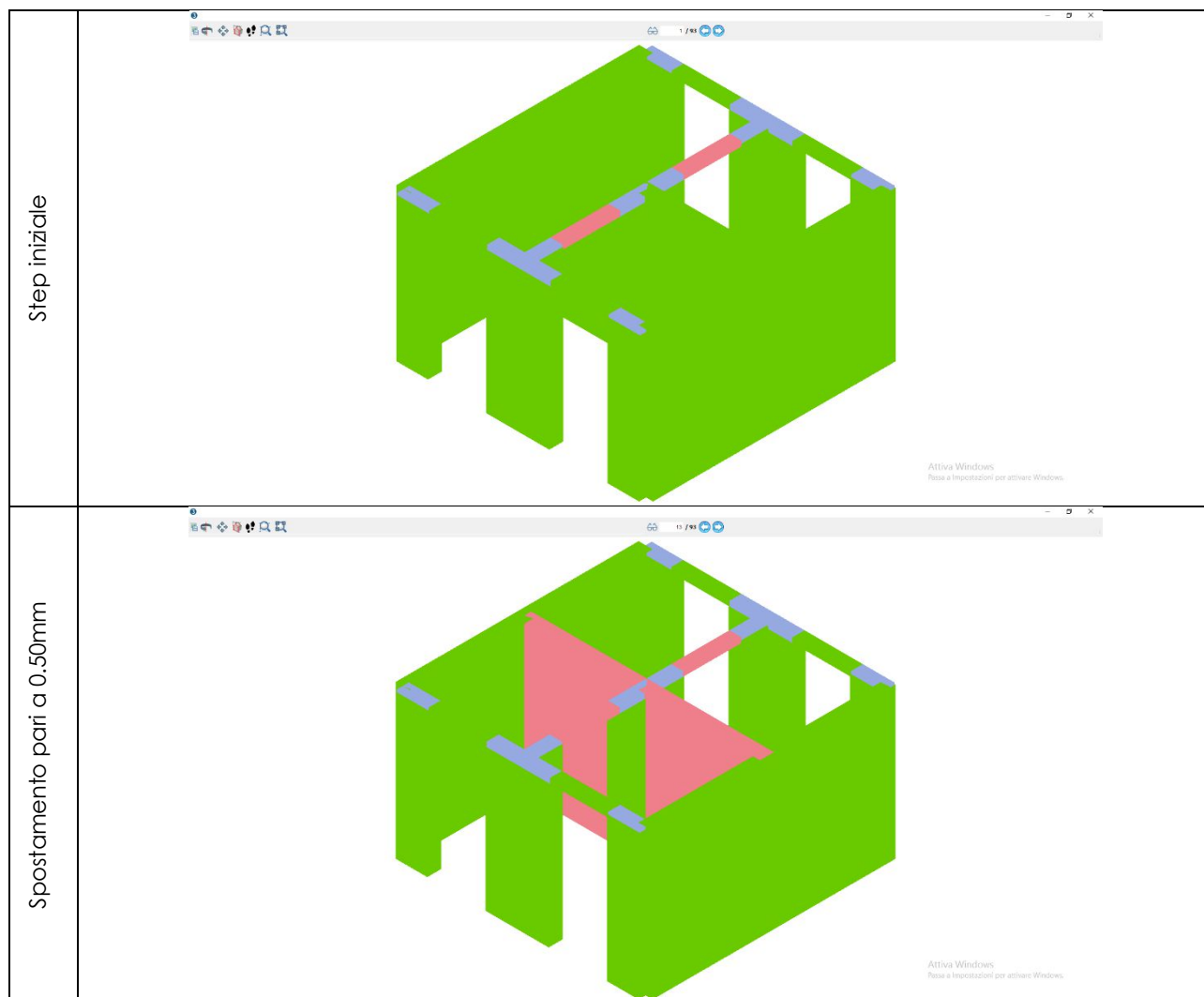
Poiché si tratta di una struttura estremamente semplice che presenta un piano solo ed il solaio infinitamente rigido tutte le distribuzioni, per una medesima direzione, si equivalgono, si ottiene, quindi, solamente una curva per ogni direzione di ingresso del sisma ovvero:

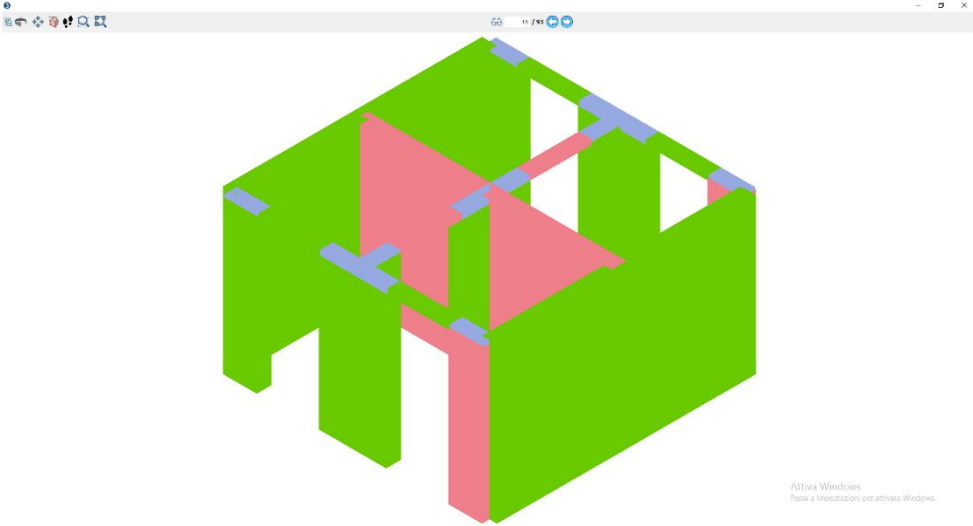
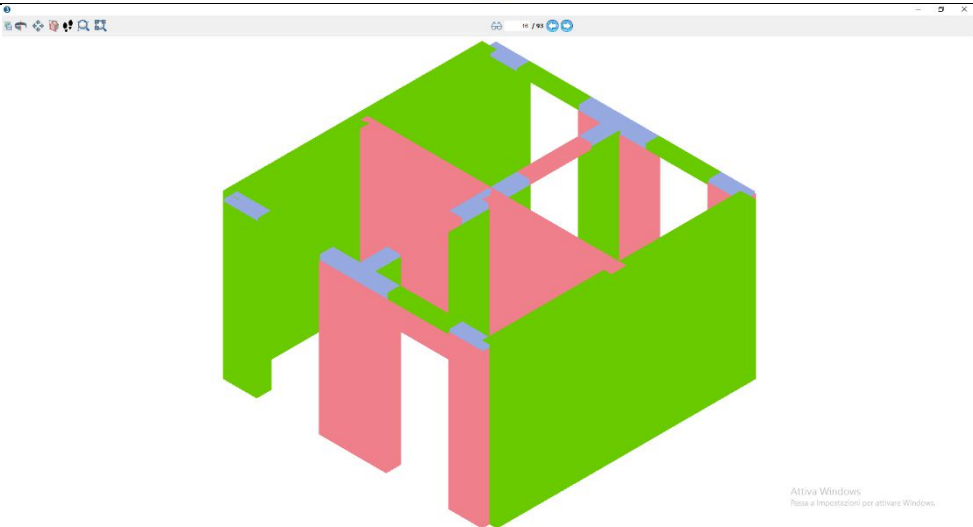
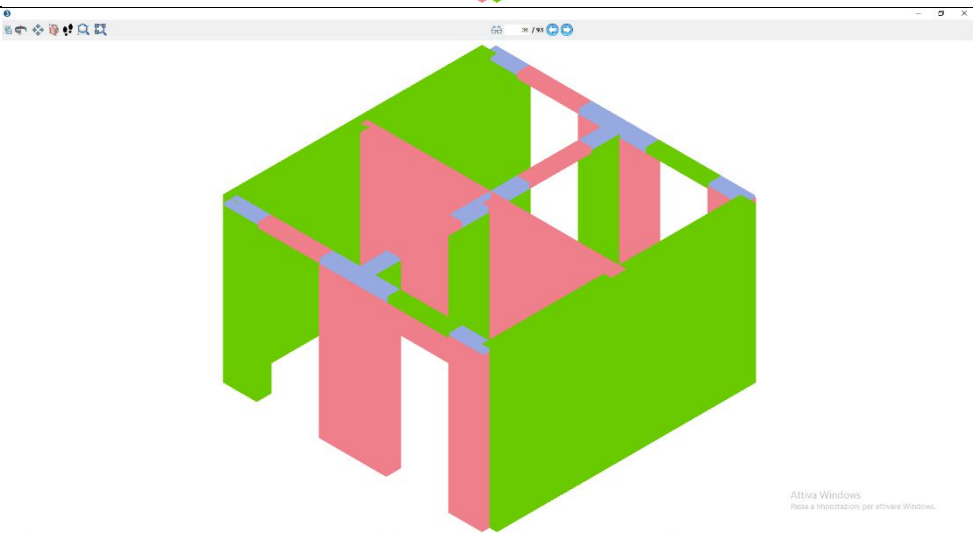
- 1) Una curva per direzione +x
- 2) Una curva per direzione -x
- 3) Una curva per direzione +y
- 4) Una curva per direzione -y

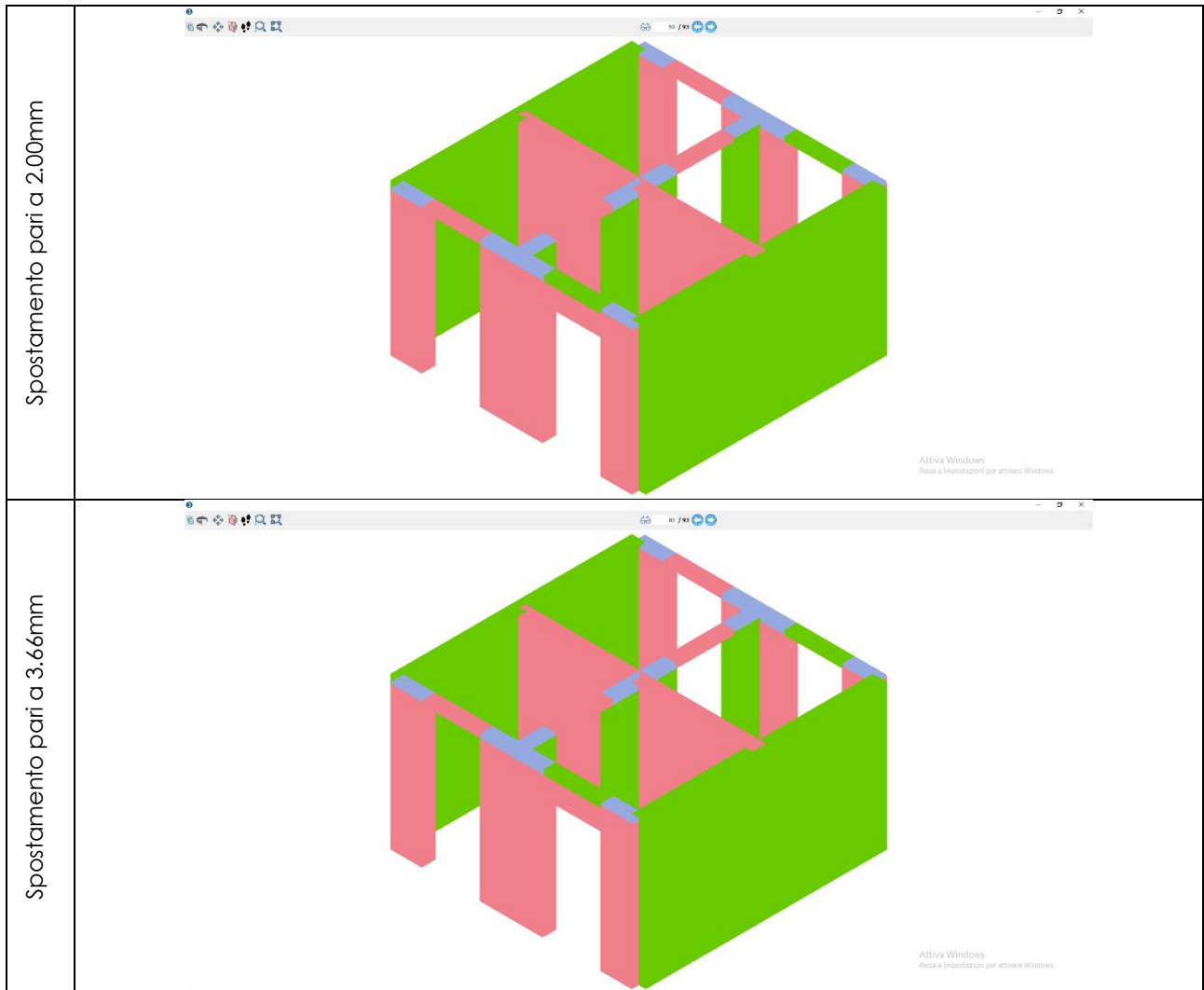
#### 8) Analisi pushover in direzione x

Nel seguito si riporta la sequenza di danneggiamento della struttura per sisma in direzione +x.

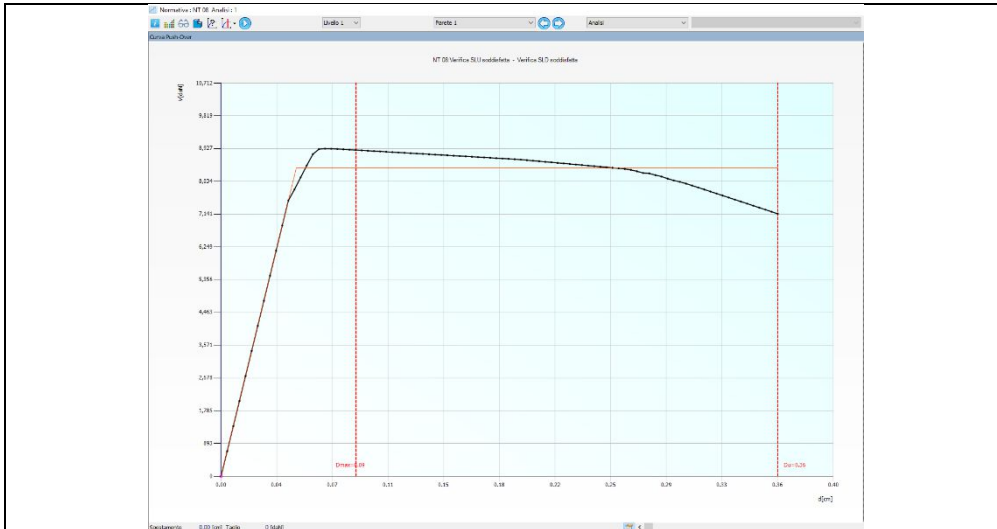
##### a. 3muri



Spostamento pari a 0.60mm	
Spostamento pari a 0.64mm	
Spostamento pari a 1.43mm	



**i. Curva di pushover**

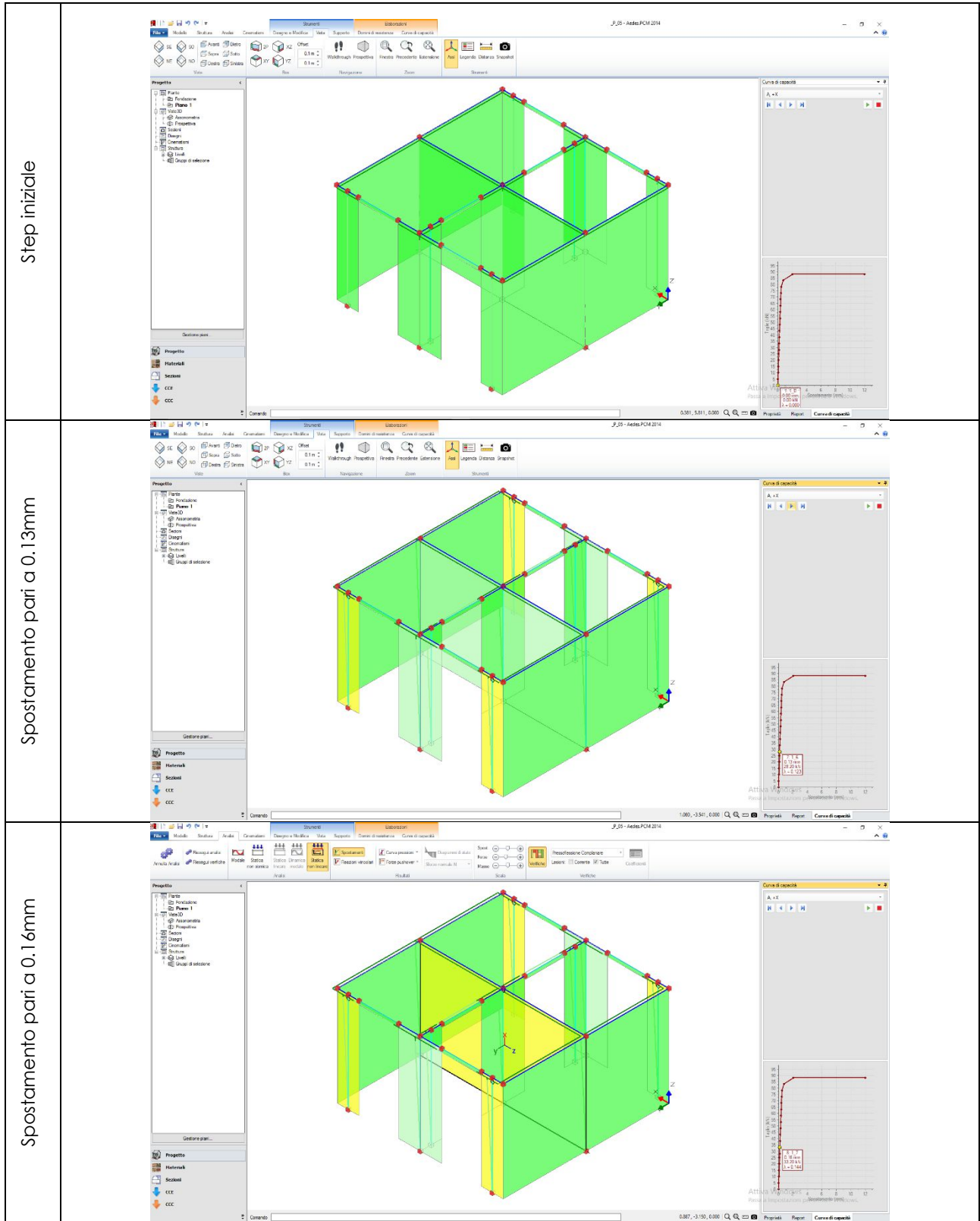


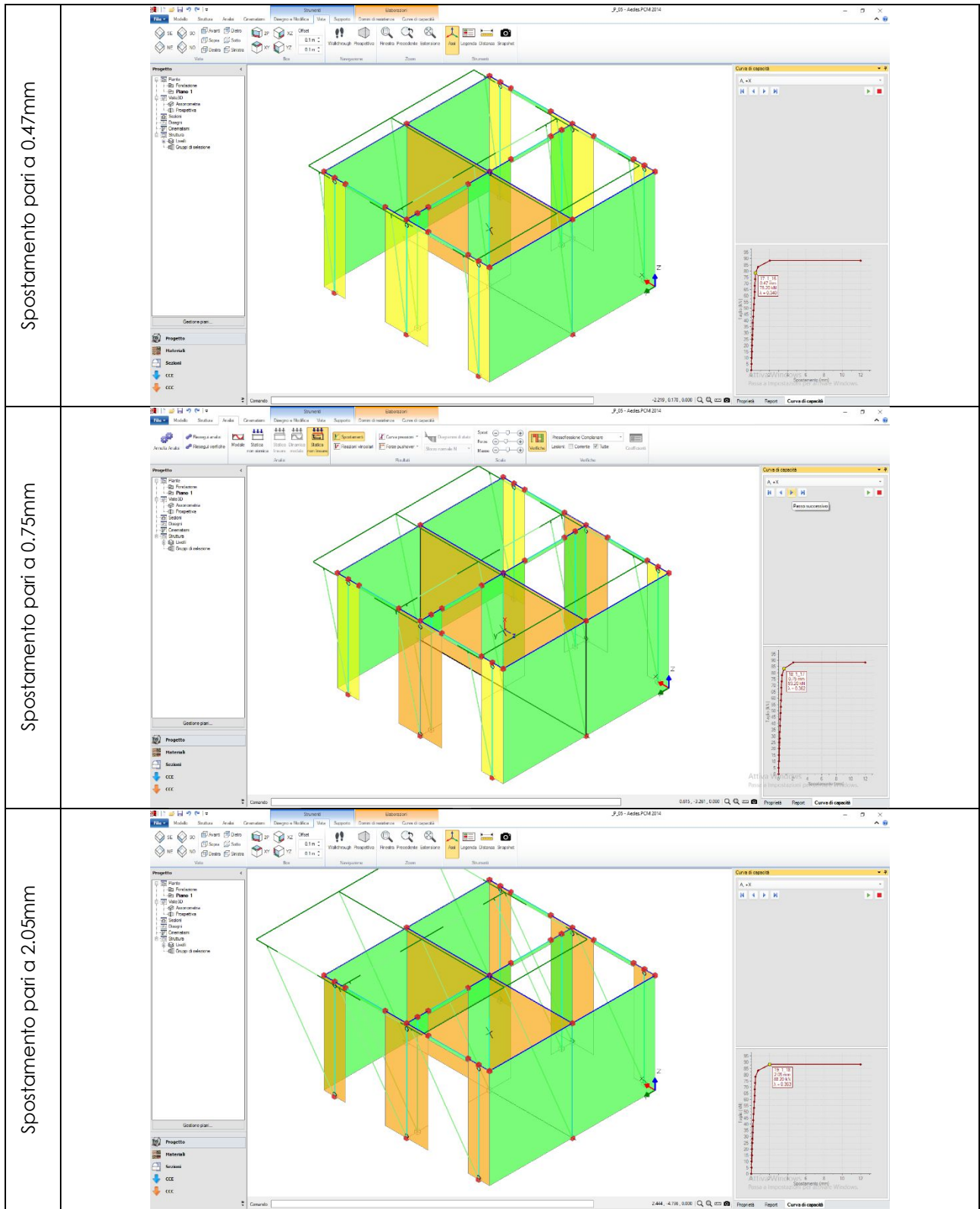
Passo	Spostamento [m]	Taglio [daN]
1	0.00	0
2	0.00	683
3	0.01	1,366
4	0.01	2,050
5	0.02	2,733
6	0.02	3,416
7	0.02	4,099
8	0.03	4,782
9	0.03	5,466
10	0.04	6,149
11	0.04	6,832
12	0.04	7,515
13	0.05	8,198
14	0.05	8,881
15	0.06	9,564
16	0.06	10,247
17	0.06	10,930
18	0.07	11,613
19	0.07	12,296
20	0.08	12,979
21	0.08	13,662
22	0.08	14,345
23	0.09	15,028
24	0.09	15,711
25	0.10	16,394
26	0.10	17,077
27	0.10	17,760
28	0.11	18,443
29	0.11	19,126
30	0.12	19,809
31	0.12	20,492
32	0.12	21,175
33	0.13	21,858
34	0.13	22,541
35	0.14	23,224
36	0.14	23,907
37	0.14	24,590
38	0.15	25,273
39	0.15	25,956
40	0.16	26,639
41	0.16	27,322
42	0.16	28,005

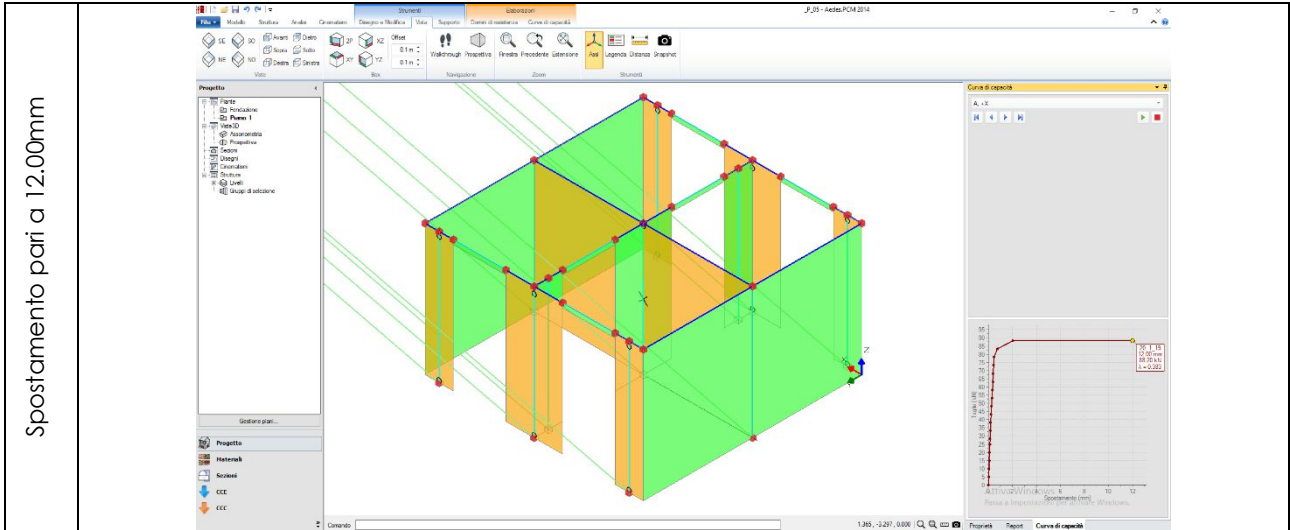
Passo	Spostamento [m]	Taglio [daN]
40	0.16	8,726
41	0.16	8,716
42	0.16	8,706
43	0.17	8,697
44	0.17	8,687
45	0.18	8,677
46	0.18	8,668
47	0.18	8,658
48	0.19	8,648
49	0.19	8,639
50	0.20	8,629
51	0.20	8,619
52	0.20	8,609
53	0.21	8,599
54	0.21	8,589
55	0.22	8,579
56	0.22	8,569
57	0.22	8,559
58	0.23	8,549
59	0.23	8,539
60	0.24	8,529
61	0.24	8,519
62	0.24	8,509
63	0.25	8,499
64	0.25	8,489
65	0.26	8,479
66	0.26	8,469
67	0.26	8,459
68	0.27	8,449
69	0.27	8,439
70	0.28	8,429
71	0.28	8,419
72	0.28	8,409
73	0.29	8,399
74	0.29	8,389
75	0.30	8,379
76	0.30	8,369
77	0.30	8,359
78	0.31	8,349
79	0.31	8,339
80	0.32	8,329
81	0.32	8,319

Passo	Spostamento [m]	Taglio [daN]
53	0.21	8,583
54	0.21	8,568
55	0.22	8,553
56	0.22	8,538
57	0.22	8,524
58	0.23	8,509
59	0.23	8,494
60	0.24	8,479
61	0.24	8,464
62	0.24	8,449
63	0.25	8,434
64	0.25	8,420
65	0.26	8,405
66	0.26	8,390
67	0.26	8,375
68	0.27	8,360
69	0.27	8,345
70	0.28	8,330
71	0.28	8,315
72	0.28	8,300
73	0.29	8,285
74	0.29	8,270
75	0.30	8,255
76	0.30	8,240
77	0.30	8,225
78	0.31	8,210
79	0.31	8,195
80	0.32	8,180
81	0.32	8,165
82	0.32	8,150
83	0.33	8,135
84	0.33	8,120
85	0.34	8,105
86	0.34	8,090
87	0.34	8,075
88	0.35	8,060
89	0.35	8,045
90	0.36	8,030
91	0.36	8,015
92	0.36	8,000

**b. Aedes 1**

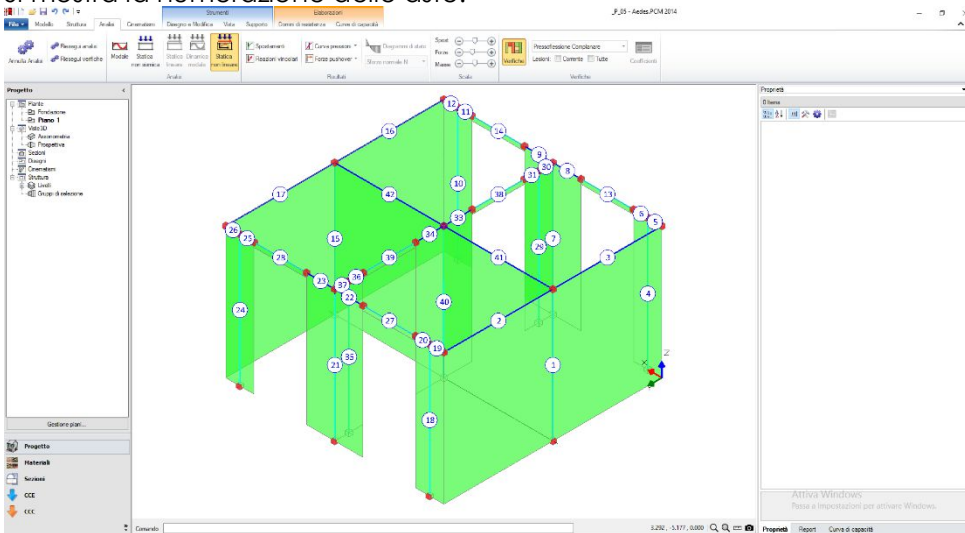






**i. Storia evolutiva**

Si mostra la numerazione delle aste.



Si riporta la storia evolutiva.

**Analisi Pushover VAPX :**

Stati limite SLV, SLO e SLD - Distr.Forze (A) - Direzione: +X  
 percorso di archiviazione risultati:  
 C:\Aedes2014\Pcm\Progetti\\_P\_05\SNL\VAPX\_

**Causa del termine di costruzione della curva di capacità:**  
 La struttura è diventata labile (spostamenti inaccettabili)

**Configurazione strutturale al termine di costruzione della curva di capacità:**  
 (la costruzione della curva ha richiesto l'elaborazione di una sola curva intermedia)

**Aste che divengono (o sono già divenute) non reagenti assialmente (traz./compr. eccessiva):**

-  
**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (complanare):**

-  
**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (ortogonale):**

-  
**Aste non ancora al limite ultimo, ma con degrado vincolare:**

- 4,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011
- 7,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011
- 10,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011
- 18,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011
- 21,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011
- 24,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011
- 40,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
 (elenco per ordine di plasticizzazione)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
----	-------	-------	-----	------	---	---	---------	-----	----	----	----	---	--------

	int.				(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
4	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
10	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
18	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
24	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
40	1	7	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-37.59	0.980
7	1	8	e	S	7.21	0.022	2.400	1.35	1.778	491.11	4.61	-5.34	0.864
21	1	8	e	S	7.21	0.022	2.400	1.35	1.778	491.11	4.61	-5.34	0.864
7	1	17	e	B	24.18	0.074	2.400	1.35	1.778	491.11	14.92	-16.90	0.883
21	1	17	e	B	24.18	0.074	2.400	1.35	1.778	491.11	14.92	-16.90	0.883
4	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546
10	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546
18	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546
24	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
(elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
int.					(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
4	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
4	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546
7	1	8	e	S	7.21	0.022	2.400	1.35	1.778	491.11	4.61	-5.34	0.864
7	1	17	e	B	24.18	0.074	2.400	1.35	1.778	491.11	14.92	-16.90	0.883
10	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
10	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546
18	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
18	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546
21	1	17	e	B	24.18	0.074	2.400	1.35	1.778	491.11	14.92	-16.90	0.883
21	1	8	e	S	7.21	0.022	2.400	1.35	1.778	491.11	4.61	-5.34	0.864
24	1	6	e	S	2.10	0.013	2.400	1.35	1.778	245.56	0.68	-0.68	0.994
24	1	18	e	B	10.72	0.066	2.400	1.35	1.778	245.56	3.33	-6.10	0.546
40	1	7	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-37.59	0.980

**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§8.7.1.5)**

[TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine di plasticizzazione)

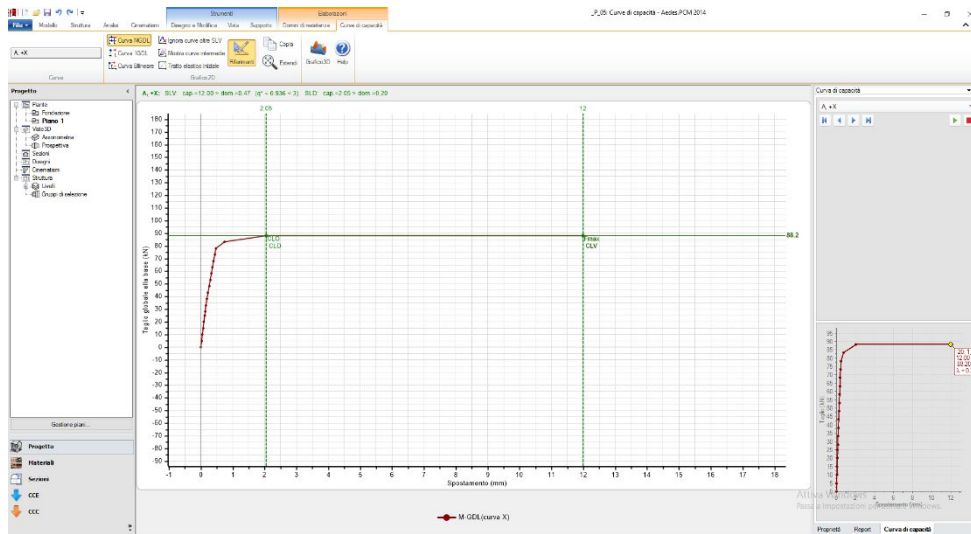
N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	F,C	fvd	Vt	V	C.Sic.
int.					b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )			(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
40	1	16	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	63.67	0.982

**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§8.7.1.5)**

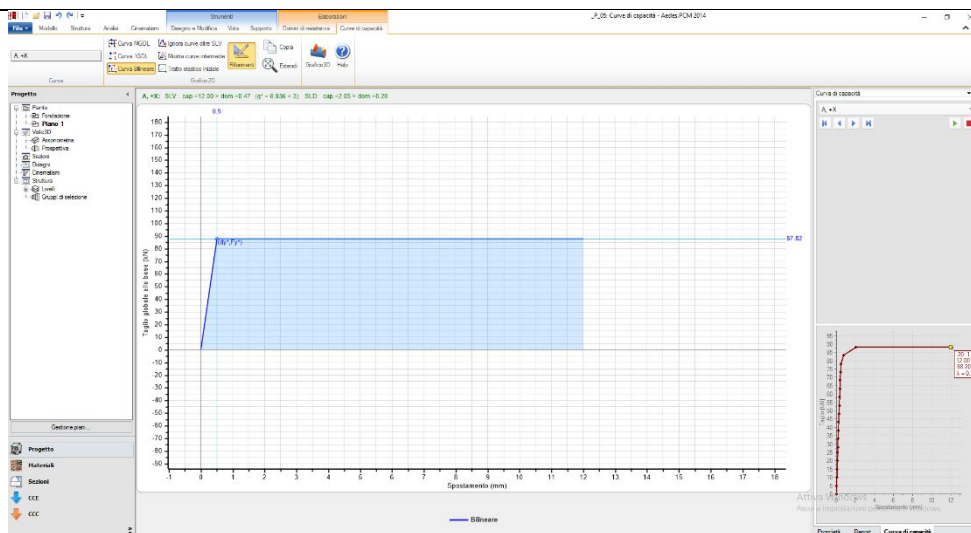
[TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	F,C	fvd	Vt	V	C.Sic.
int.					b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )			(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
40	1	16	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	63.67	0.982

## ii. Curva di pushover

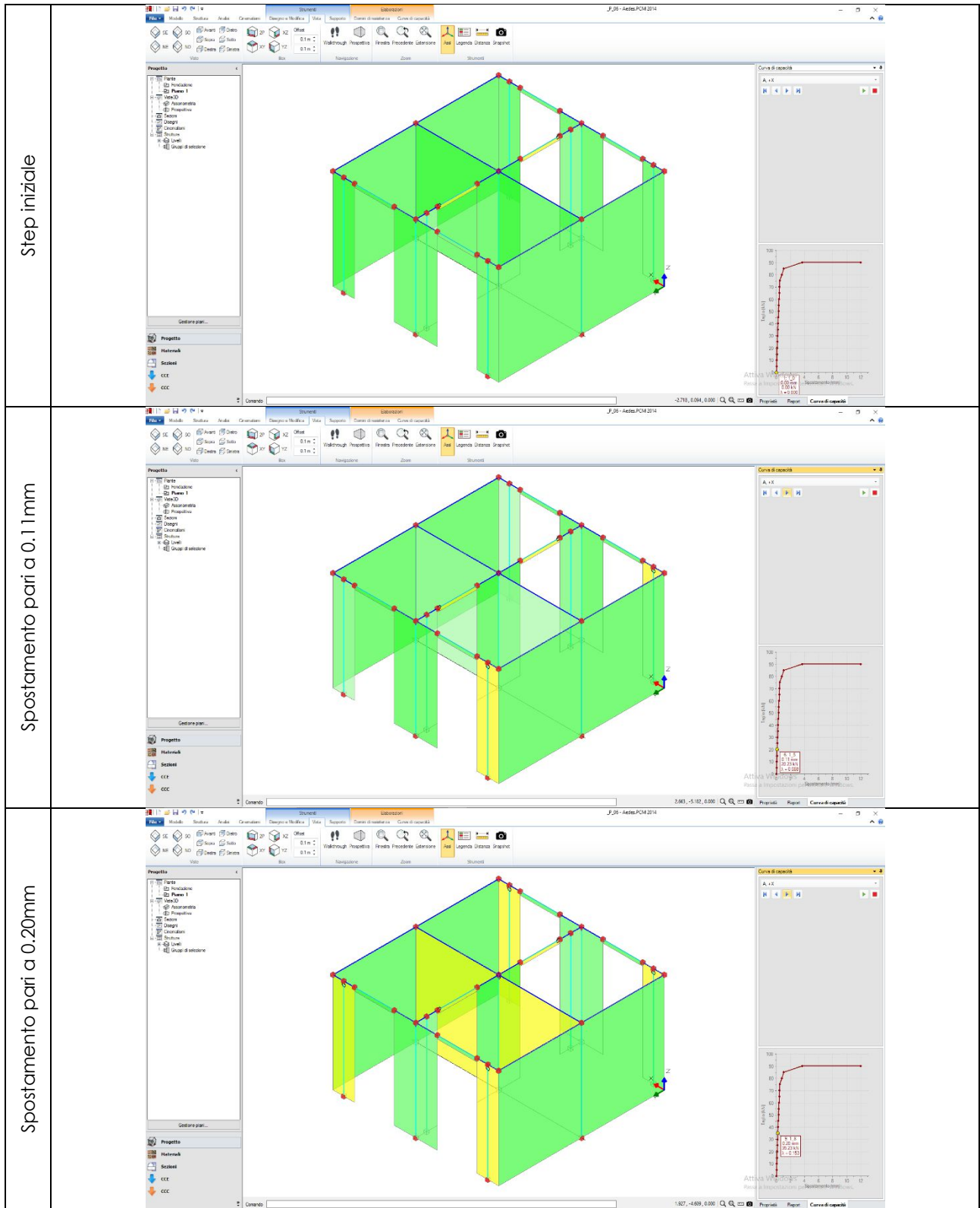


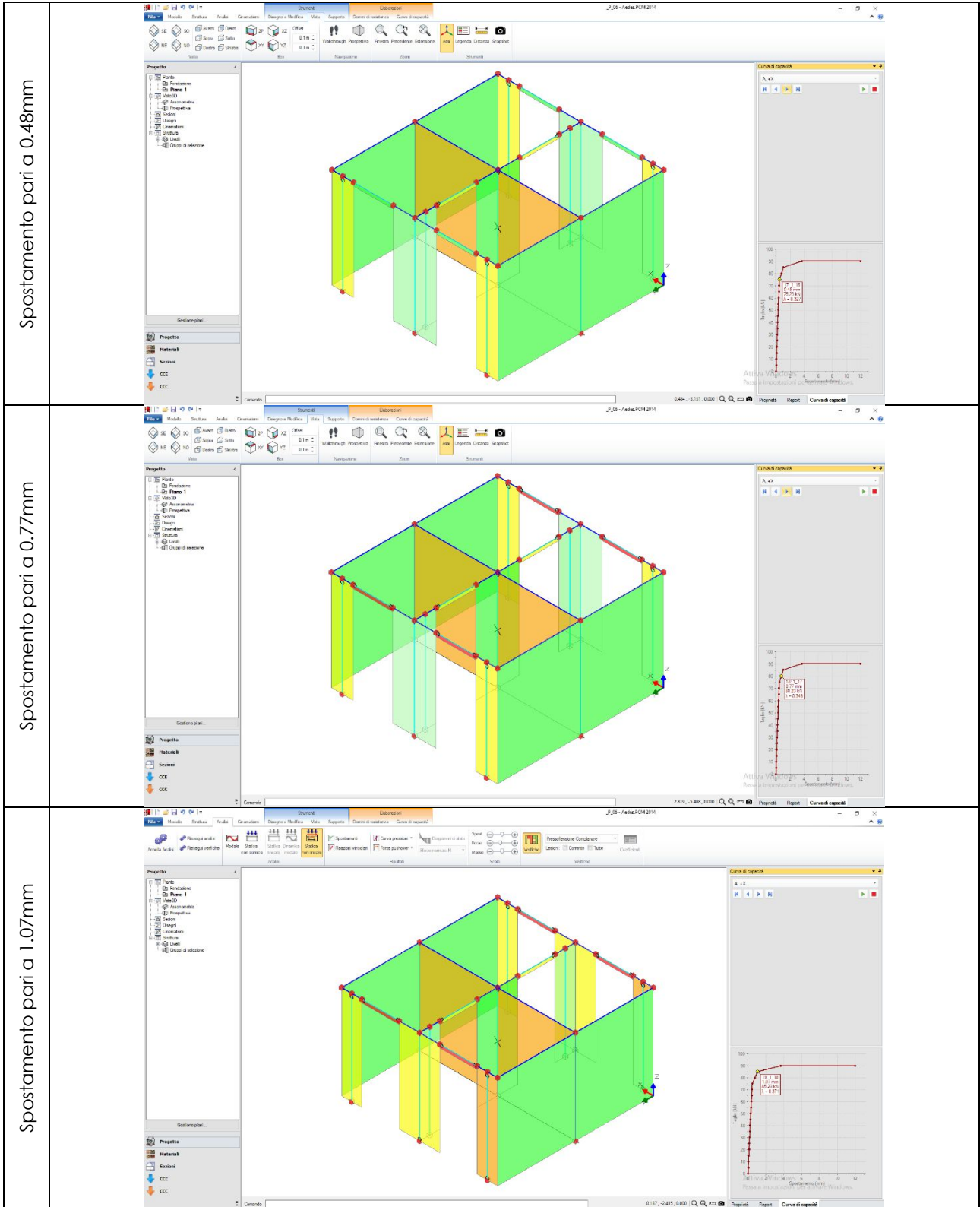
Aedes 1-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

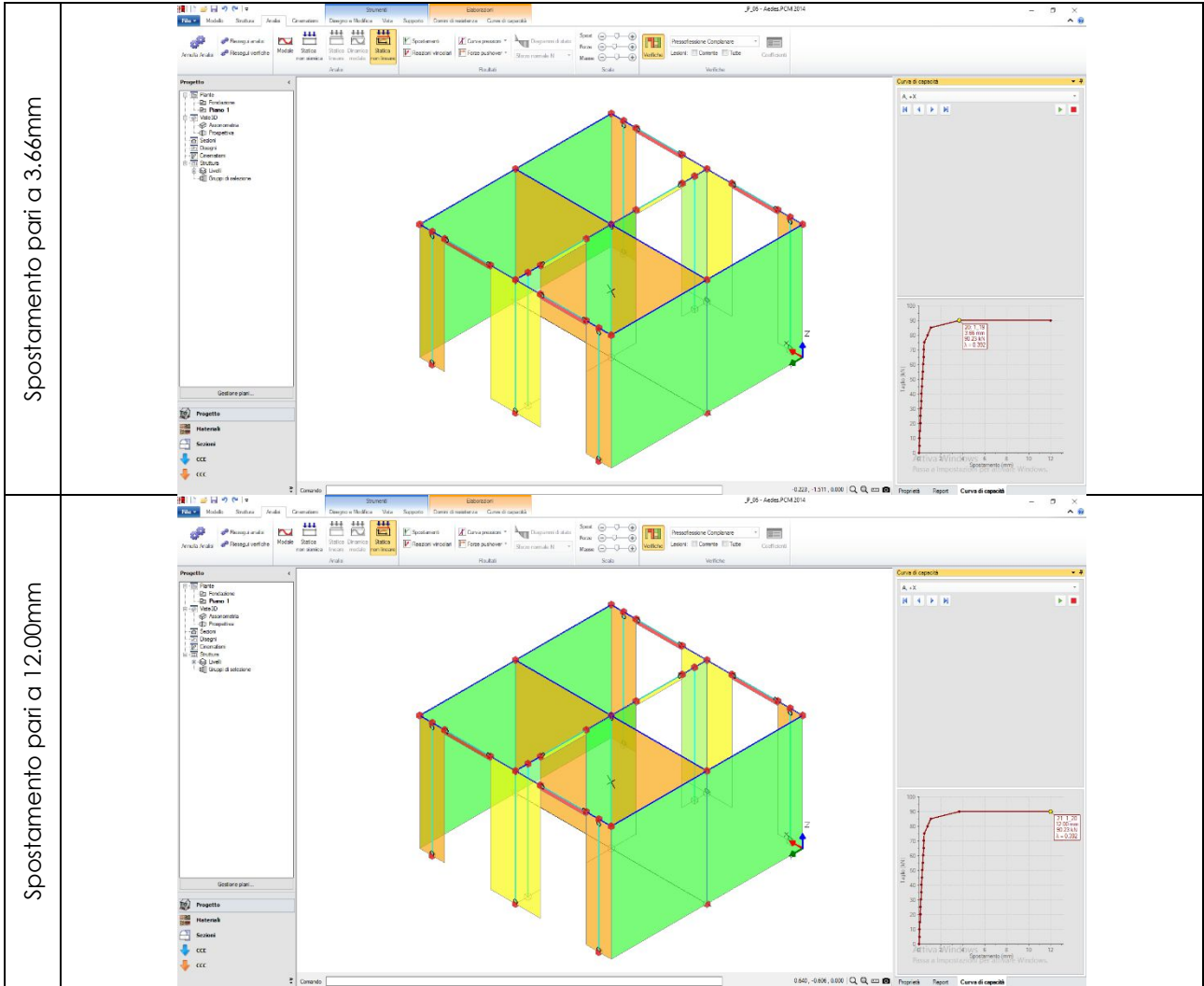


Aedes 1- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

c. **Aedes 2**

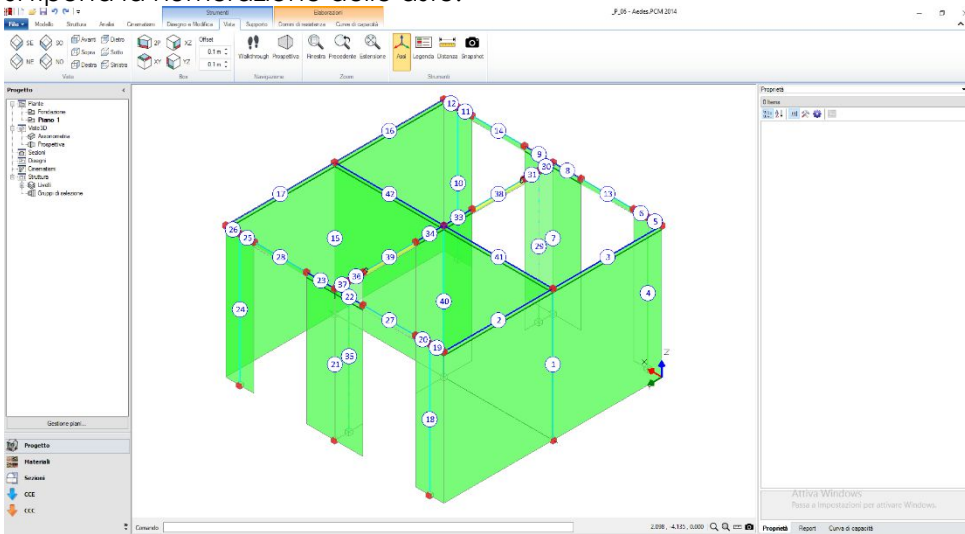






***i. Storia evolutiva***

Si riporta la numerazione delle aste.



Si riporta la storia evolutiva.

**Analisi Pushover VAPX\_ :**  
 Stati limite SLV, SLO e SLD - Distr.Forze (A) - Direzione: +X  
 percorso di archiviazione risultati:  
 C:\Aedes2014\Pcm\Progetti\\_P\_06\SNL\VAPX\_

**Causa del termine di costruzione della curva di capacità:**  
 La struttura è diventata labile (spostamenti inaccettabili)

**Configurazione strutturale al termine di costruzione della curva di capacità:**  
 (la costruzione della curva ha richiesto l'elaborazione di una sola curva intermedia)

**Aste che divengono (o sono già divenute) non reagenti assialmente (traz./compr. eccessiva):**  
 -

**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (complanare):**  
 -

**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (ortogonale):**  
 -

**Aste non ancora al limite ultimo, ma con degrado vincolare:**  
 4,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 10,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 13,Striscia,000010,000010  
 14,Striscia,000010,000010  
 18,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 24,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 27,Striscia,000010,000010  
 28,Striscia,000010,000010  
 40,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
 (elenco per ordine di plasticizzazione)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.	
	int.				(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)		
38	1	*	0	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	-0.01	0.000
39	1	*	0	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000
4	1		5	e	S	1.62	0.010	2.400	1.35	1.778	245.56	0.52	-0.53	0.990
18	1		5	e	S	1.62	0.010	2.400	1.35	1.778	245.56	0.52	-0.53	0.990
10	1		8	e	S	2.91	0.018	2.400	1.35	1.778	245.56	0.93	-0.95	0.984
24	1		8	e	S	2.91	0.018	2.400	1.35	1.778	245.56	0.93	-0.95	0.984
40	1		8	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-39.58	0.931
13	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
13	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
14	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
14	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
27	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
27	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
28	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
28	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
4	1		18	e	B	9.90	0.061	2.400	1.35	1.778	245.56	3.08	-3.26	0.946
7	1		18	e	B	25.12	0.077	2.400	1.35	1.778	491.11	15.47	-21.08	0.734
18	1		18	e	B	9.90	0.061	2.400	1.35	1.778	245.56	3.08	-3.26	0.946
21	1		18	e	B	25.12	0.077	2.400	1.35	1.778	491.11	15.47	-21.08	0.734
10	1		19	e	B	11.55	0.071	2.400	1.35	1.778	245.56	3.57	-10.80	0.331
24	1		19	e	B	11.55	0.071	2.400	1.35	1.778	245.56	3.57	-10.80	0.331

(\* indica plasticizzazione al passo iniziale)

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
 (elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.	
	int.				(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)		
4	1		18	e	B	9.90	0.061	2.400	1.35	1.778	245.56	3.08	-3.26	0.946
4	1		5	e	S	1.62	0.010	2.400	1.35	1.778	245.56	0.52	-0.53	0.990
7	1		18	e	B	25.12	0.077	2.400	1.35	1.778	491.11	15.47	-21.08	0.734
10	1		19	e	B	11.55	0.071	2.400	1.35	1.778	245.56	3.57	-10.80	0.331
10	1		8	e	S	2.91	0.018	2.400	1.35	1.778	245.56	0.93	-0.95	0.984
13	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
13	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
14	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
14	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
18	1		18	e	B	9.90	0.061	2.400	1.35	1.778	245.56	3.08	-3.26	0.946
18	1		5	e	S	1.62	0.010	2.400	1.35	1.778	245.56	0.52	-0.53	0.990
21	1		18	e	B	25.12	0.077	2.400	1.35	1.778	491.11	15.47	-21.08	0.734
24	1		8	e	S	2.91	0.018	2.400	1.35	1.778	245.56	0.93	-0.95	0.984
24	1		19	e	B	11.55	0.071	2.400	1.35	1.778	245.56	3.57	-10.80	0.331
27	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
27	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
28	1		17	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000
28	1		17	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.02	0.000

38	1	*	0	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	-0.01	0.000
39	1	*	0	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000
40	1		8	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-39.58	0.931

(\* indica plasticizzazione al passo iniziale)

**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5)**

[TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine di plasticizzazione)

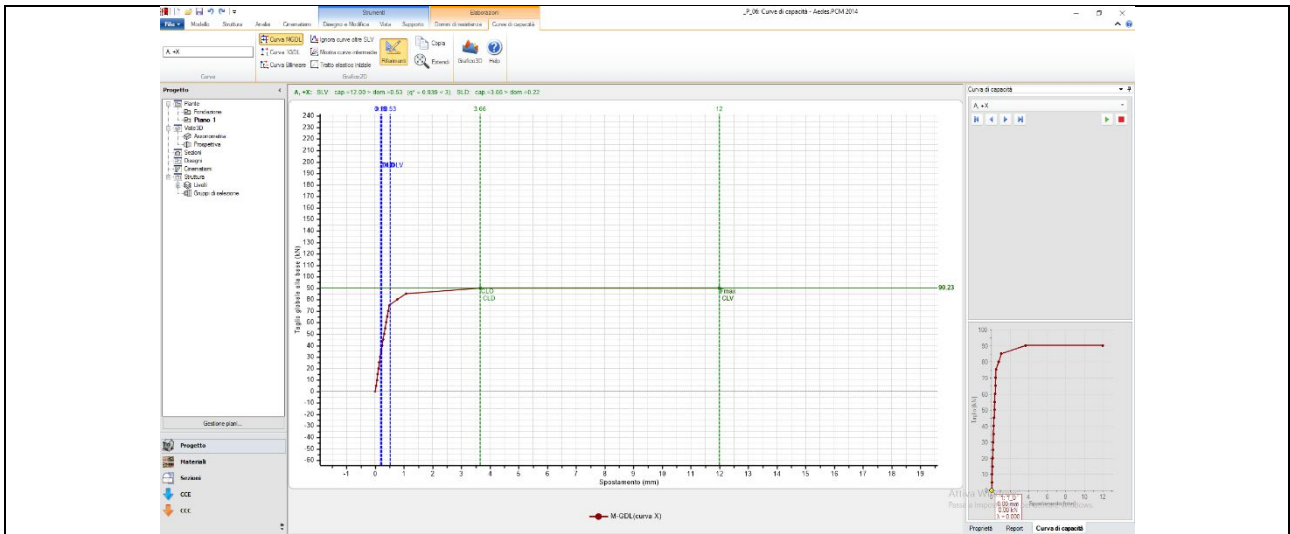
N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	F,C	fvd	Vt	V	C.Sic.
	int.				b	(kN)		(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
40	1	16	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	65.47	0.955

**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5)**

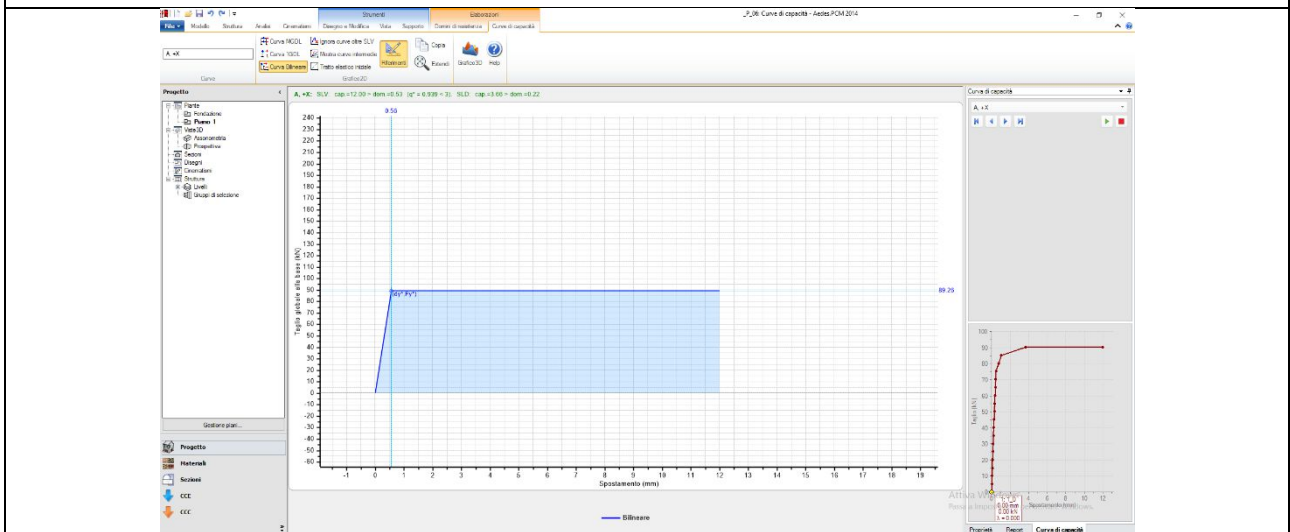
[TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	F,C	fvd	Vt	V	C.Sic.
	int.				b	(kN)		(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
40	1	16	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	65.47	0.955

ii. Curva di pushover



Aedes 2-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

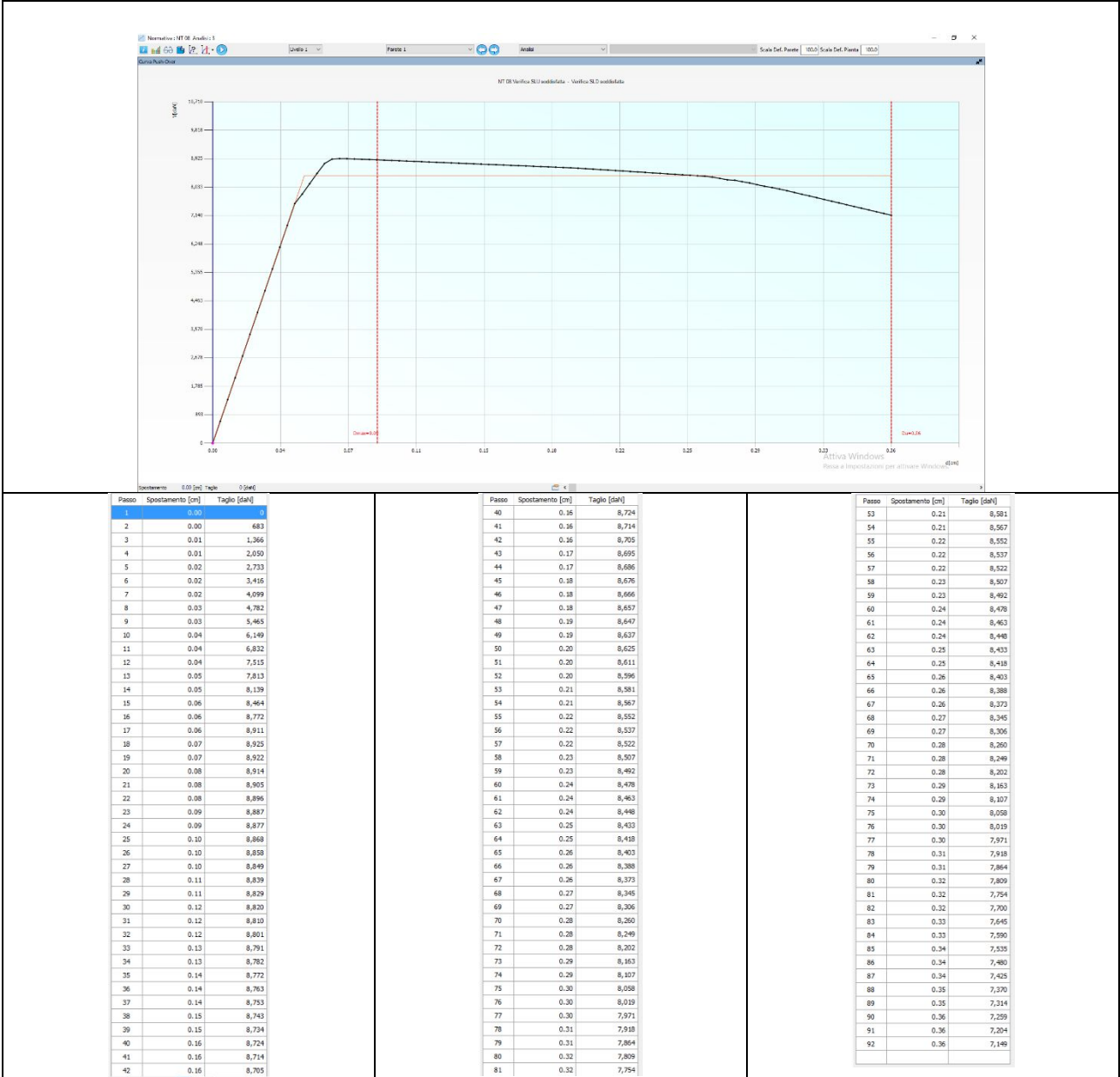


Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

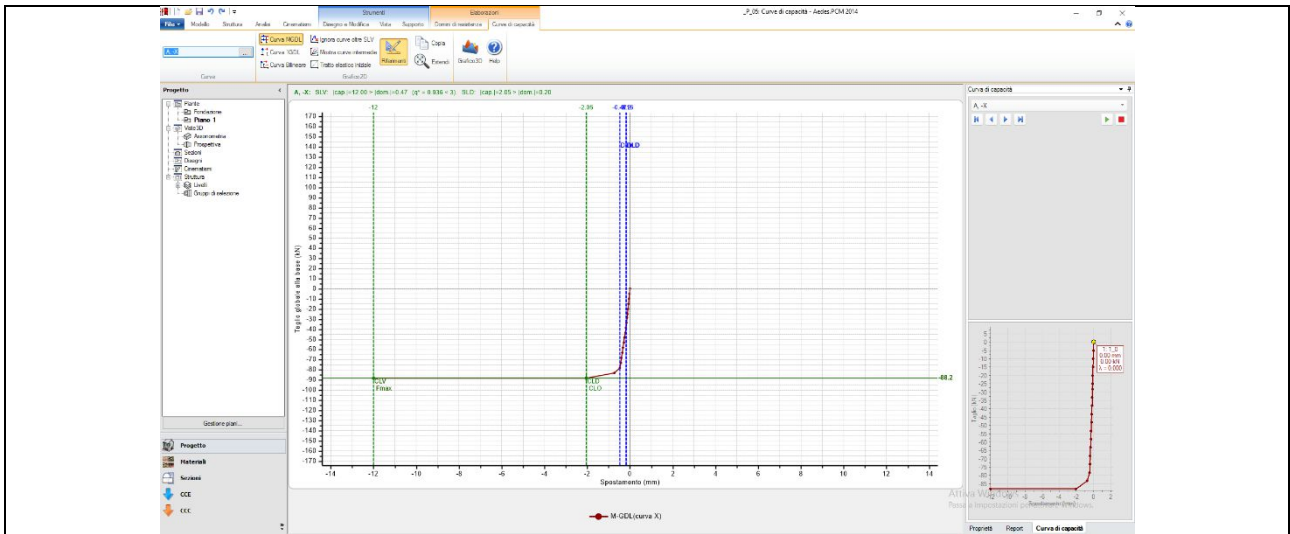
**9) Analisi pushover in direzione -x**

Per direzione -x le curve divengono analoghe essendo la struttura simmetrica.

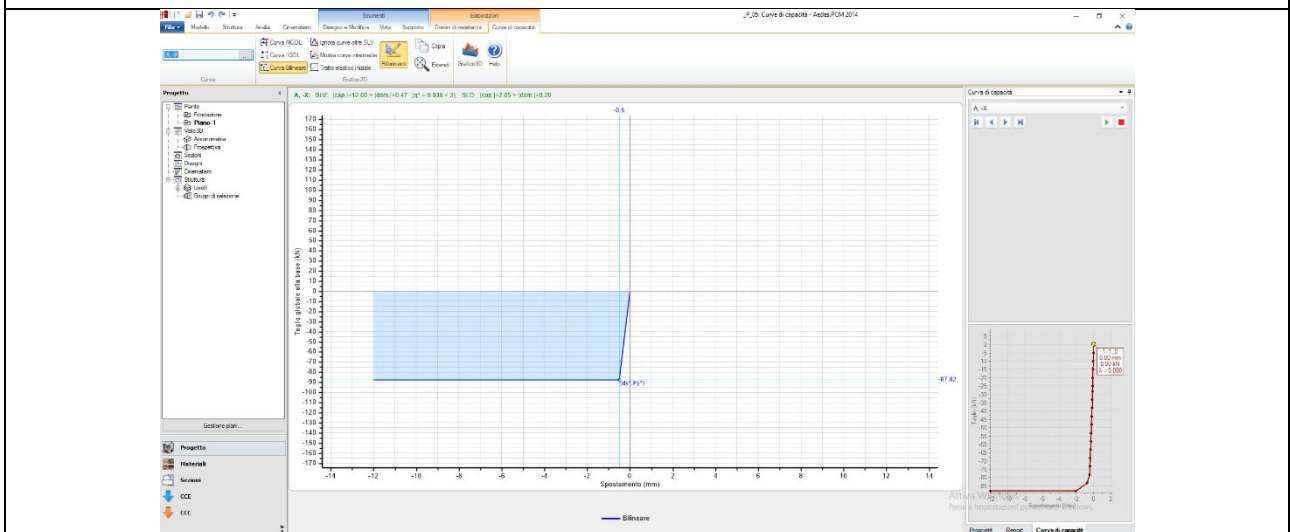
**a. 3muri**



**b. Aedes 1**

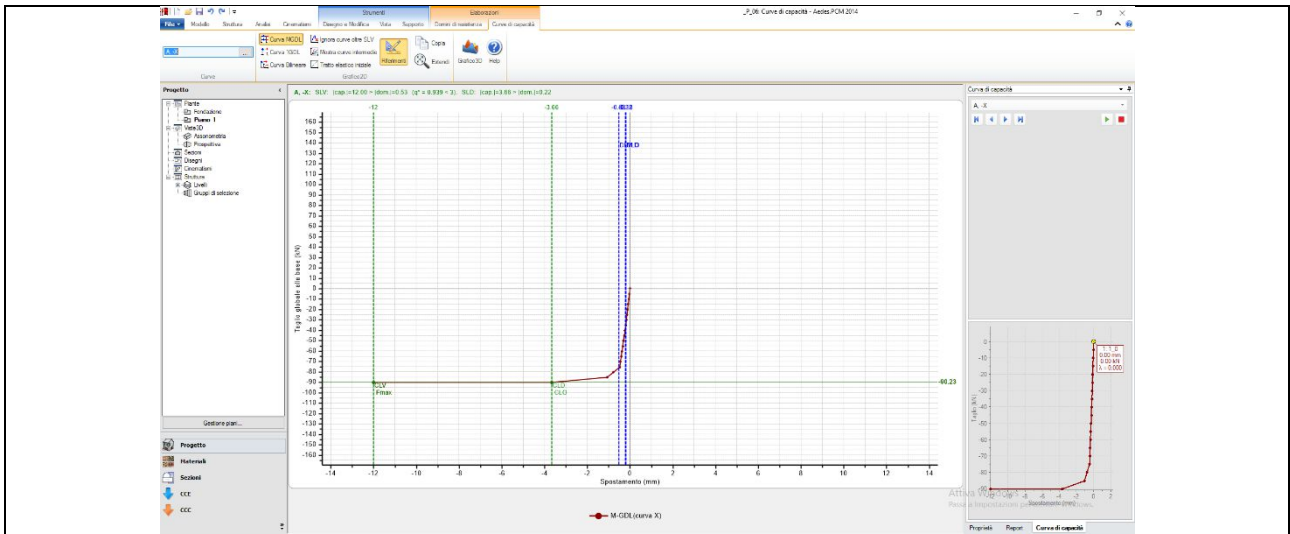


Aedes 1-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

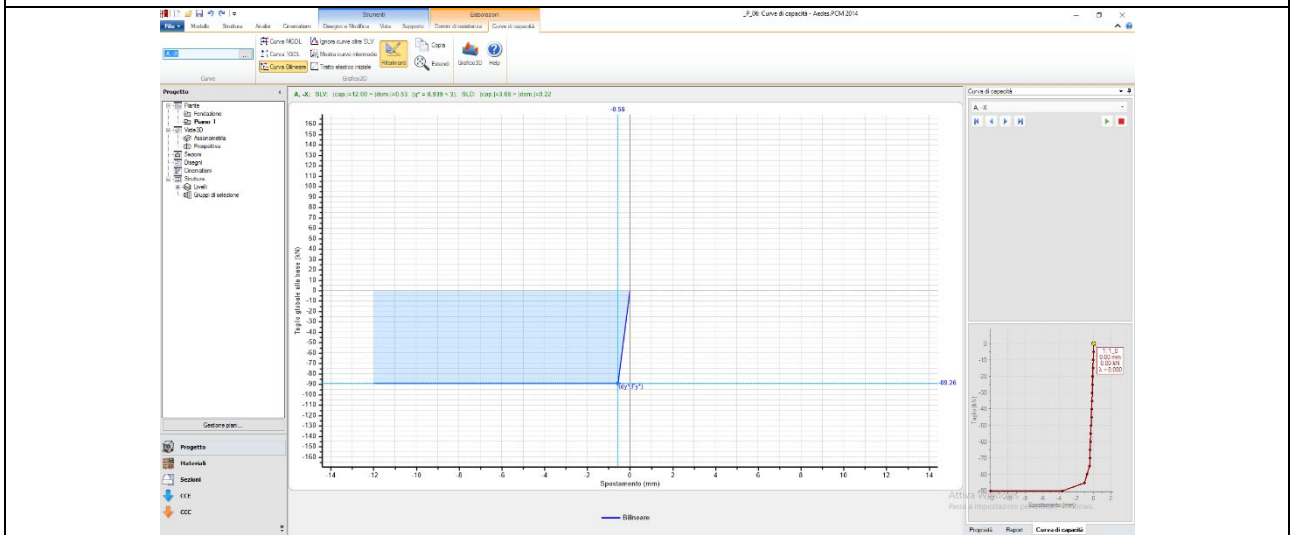


Aedes 1- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

**c. Aedes 2**



Aedes 2-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

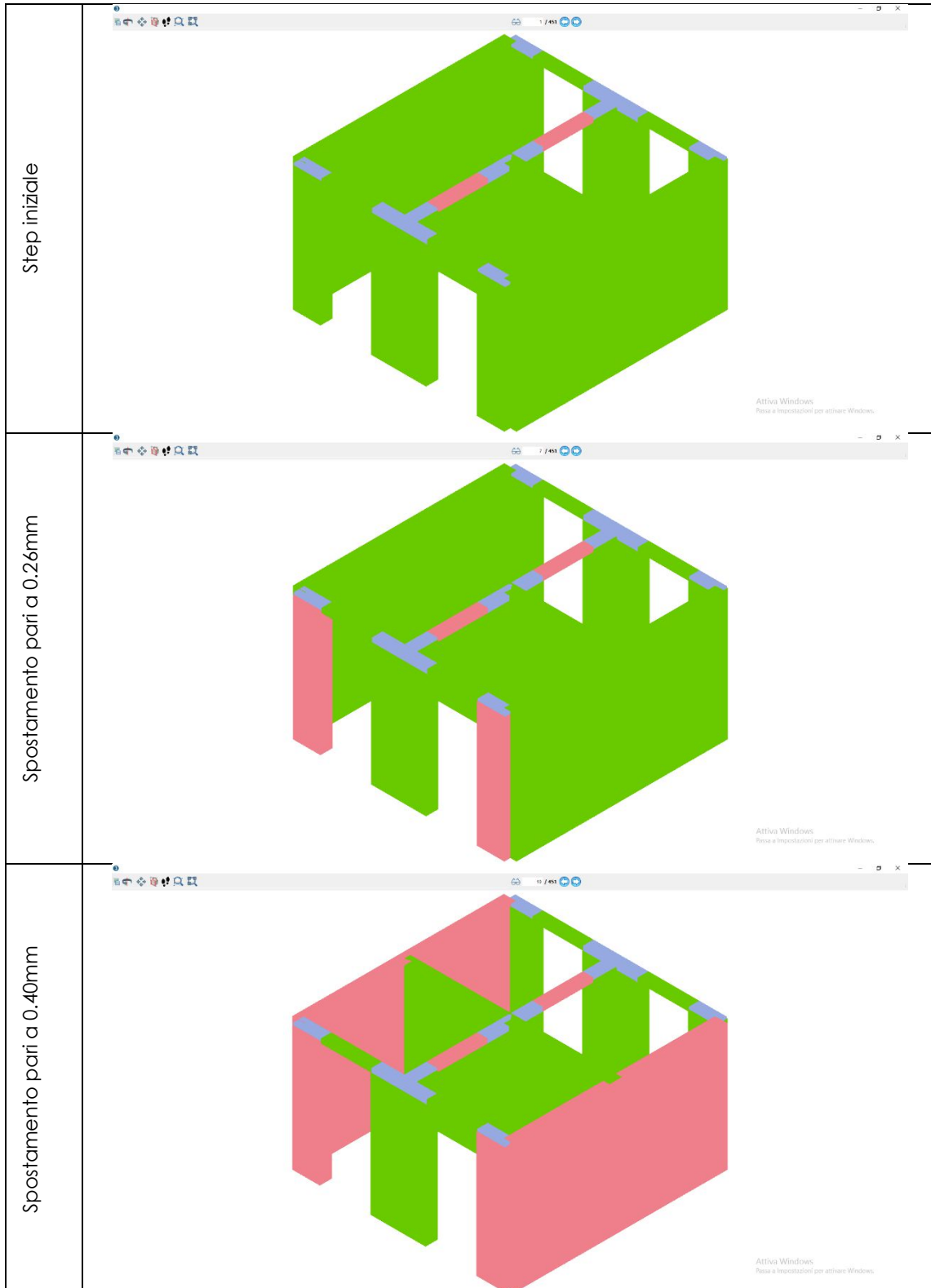


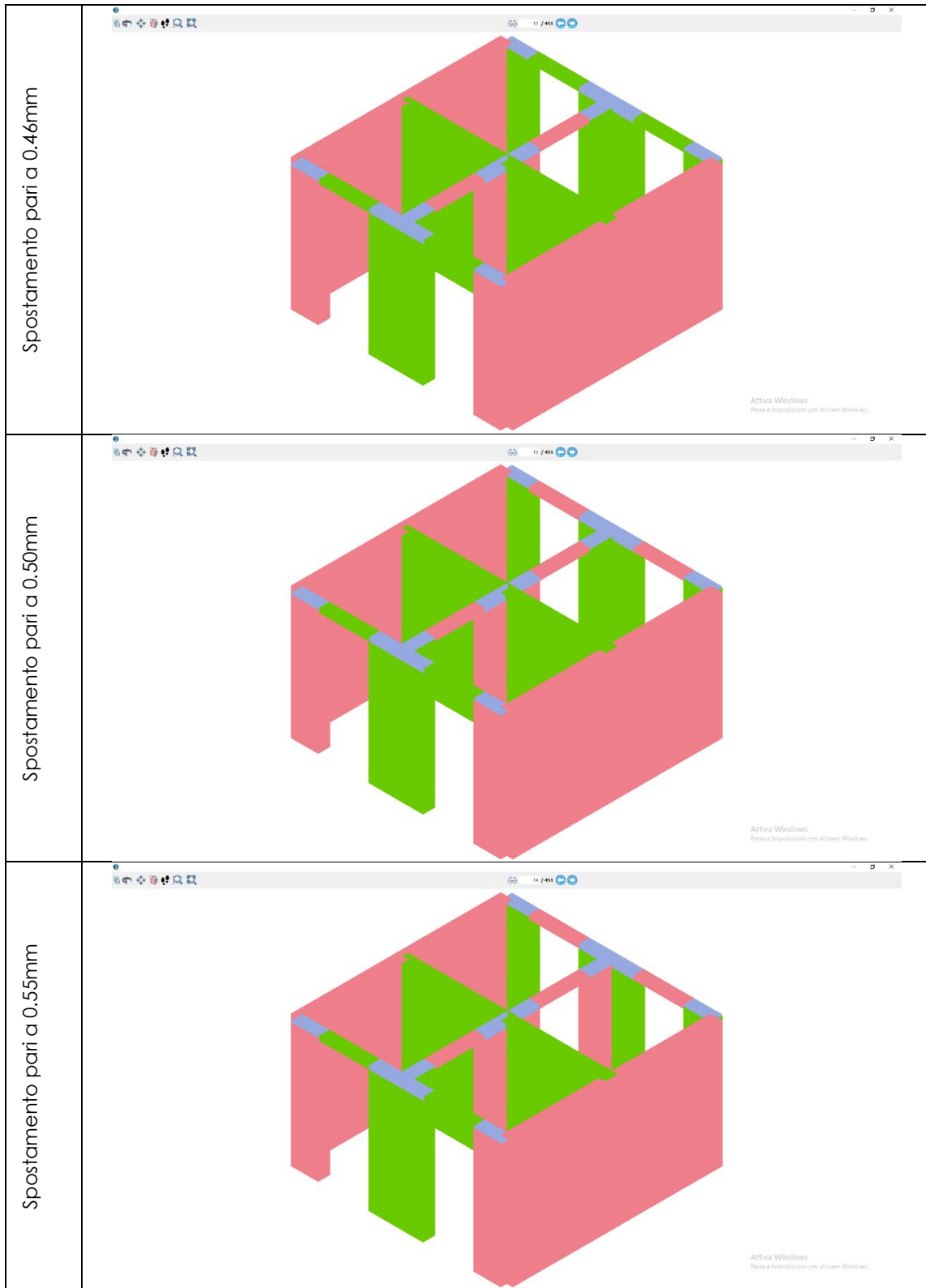
Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

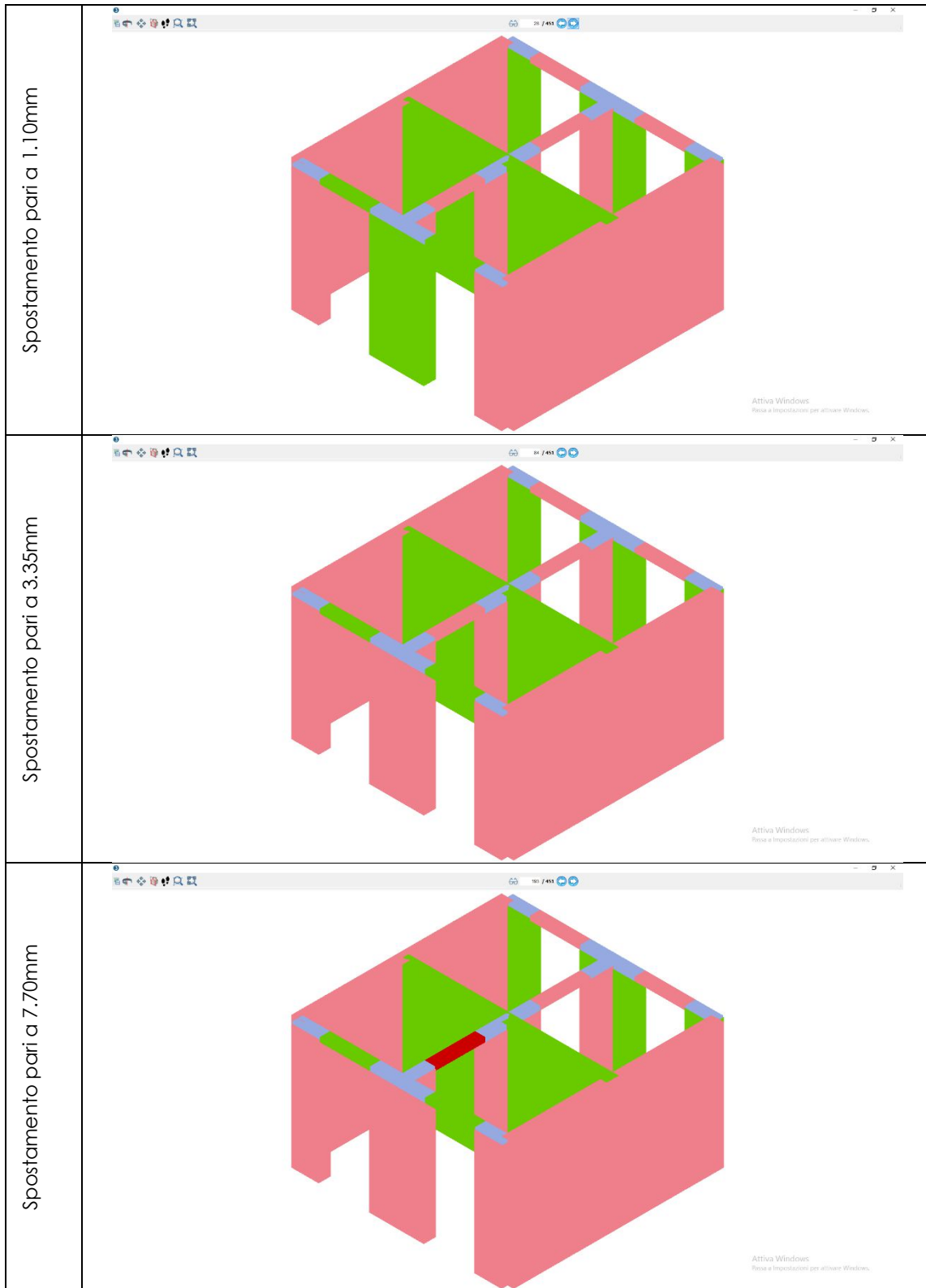
**10) Analisi pushover in direzione +y**

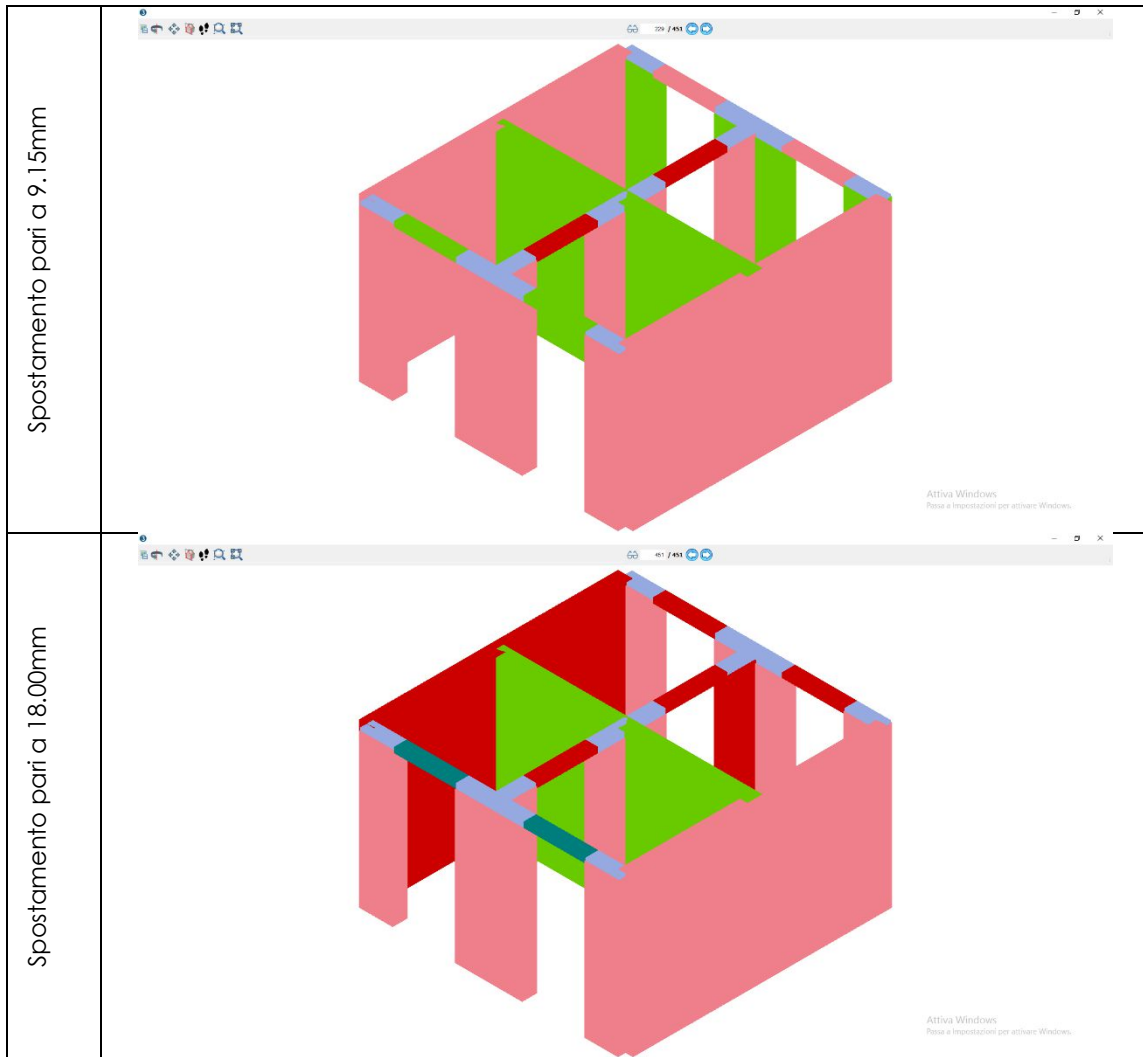
Si riporta la sequenza di danneggiamento mostrata durante la costruzione della curva di pushover con sisma entrante in direzione +y.

**a. 3muri**

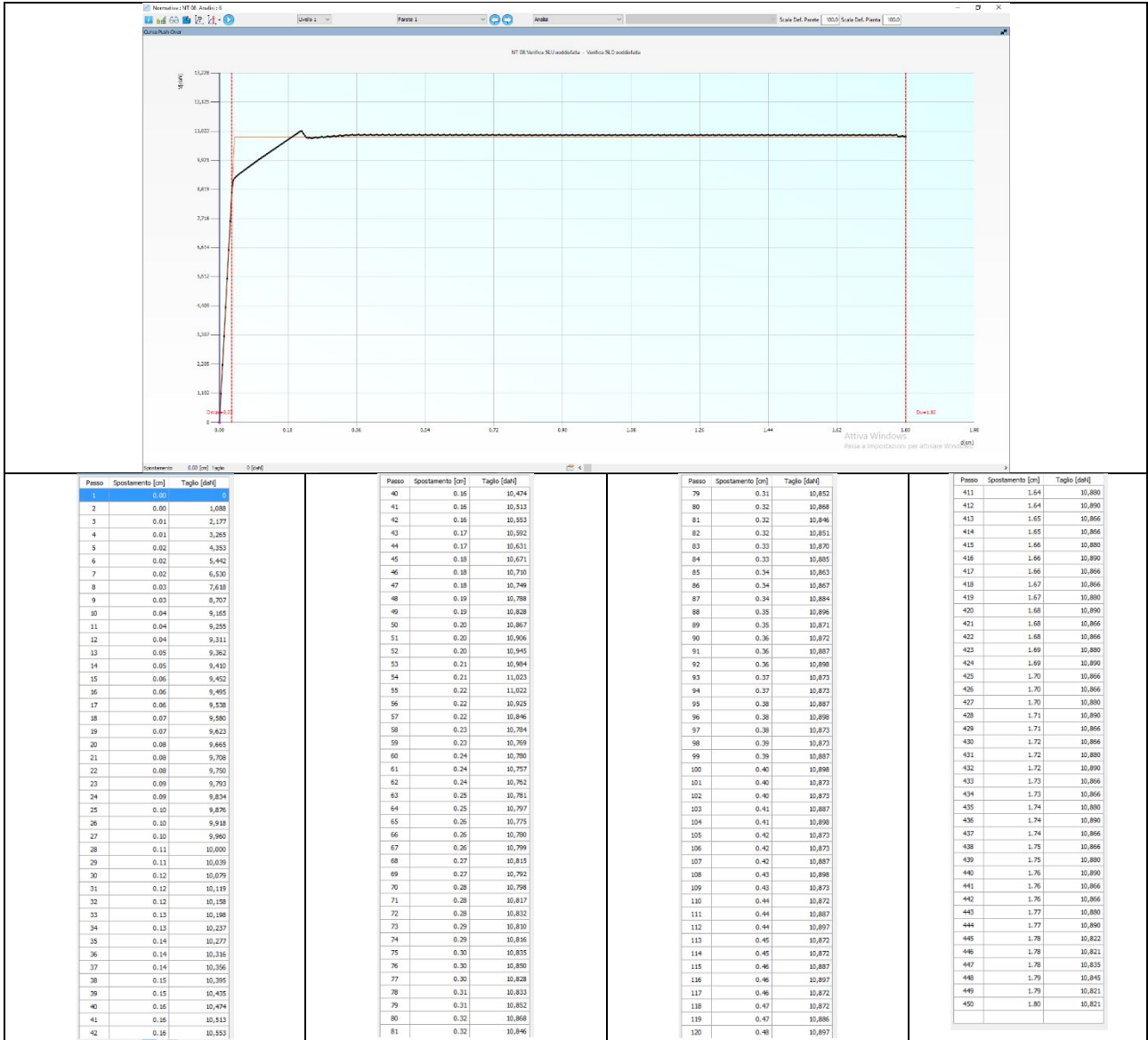




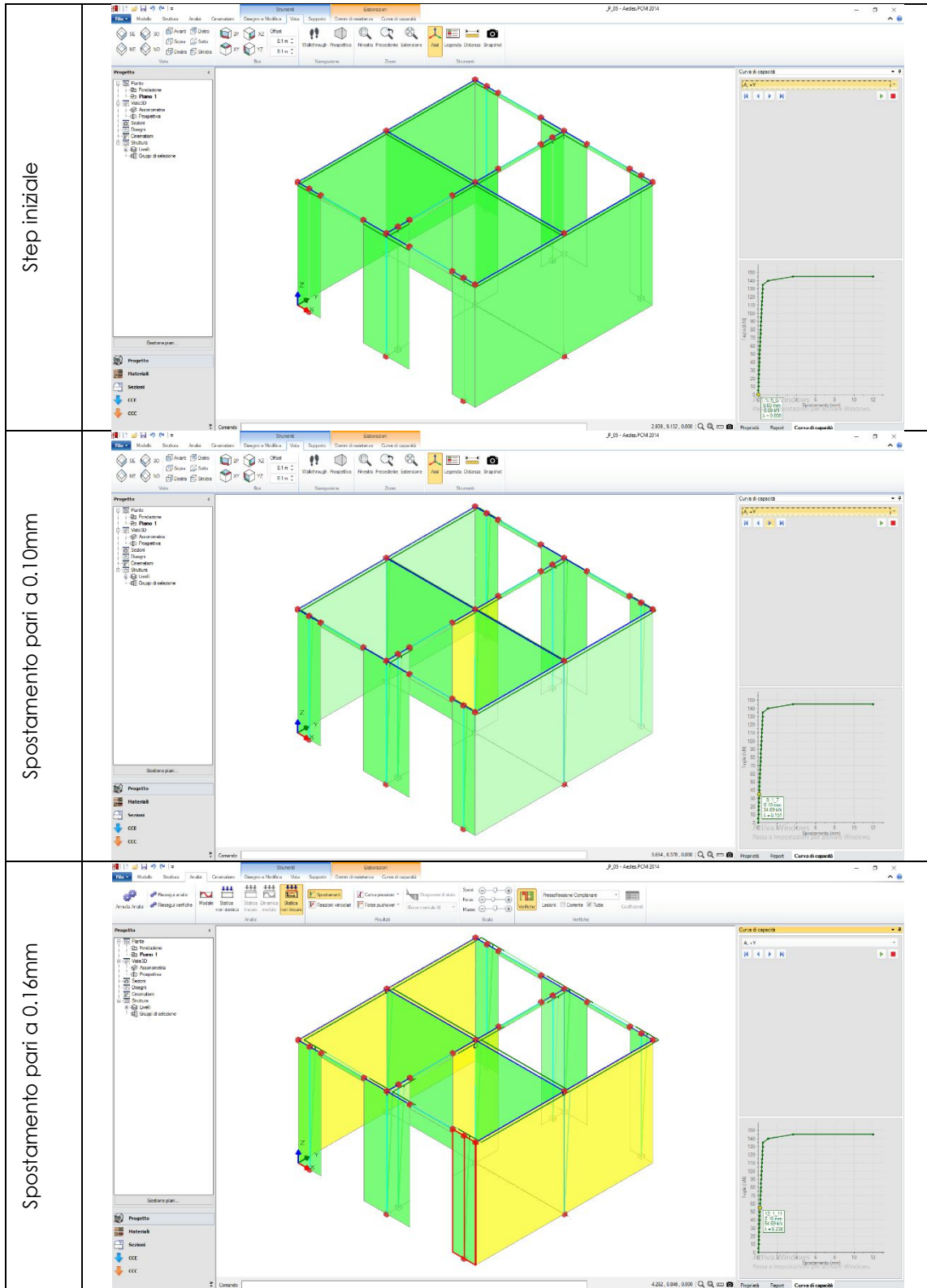


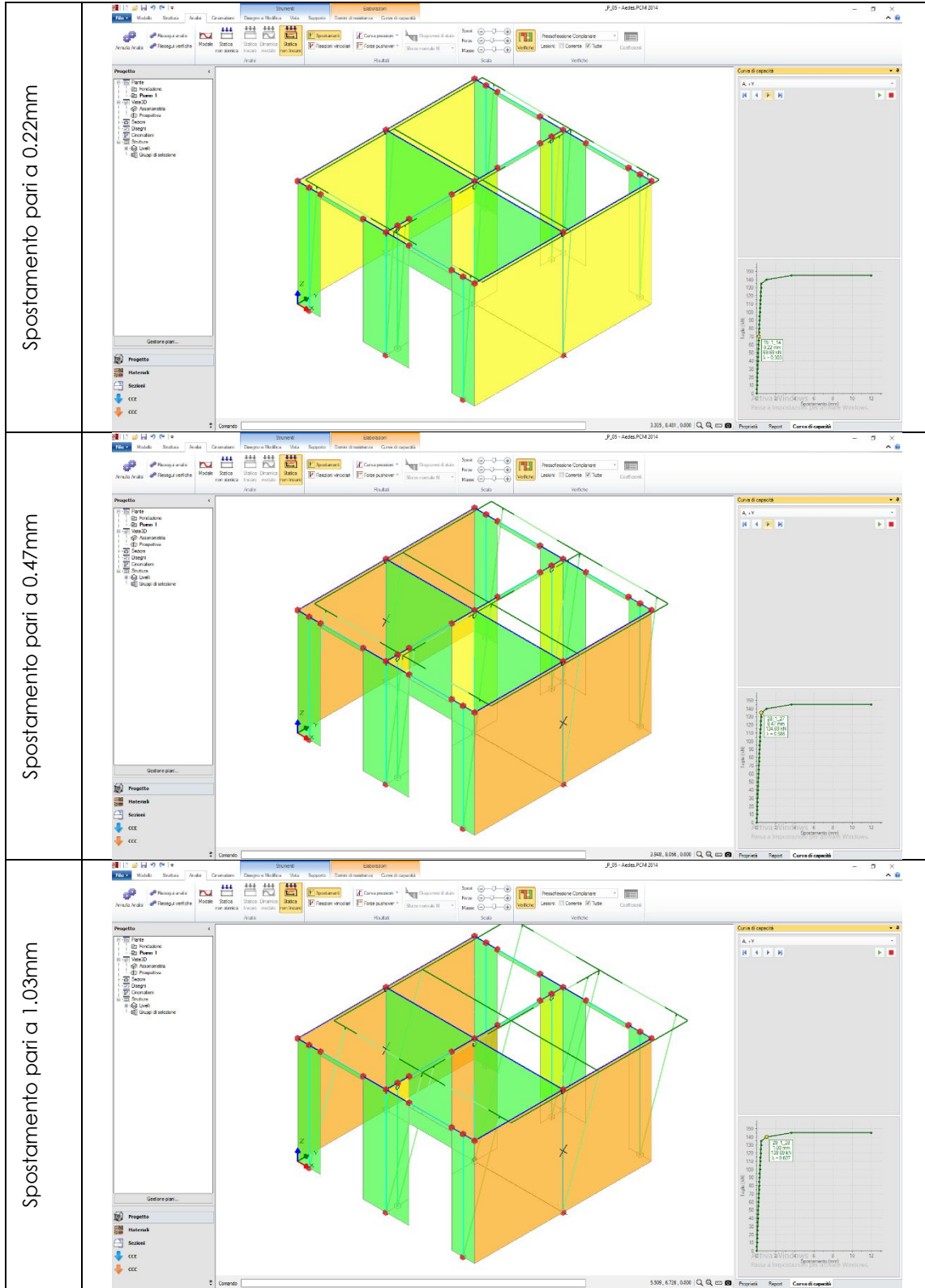


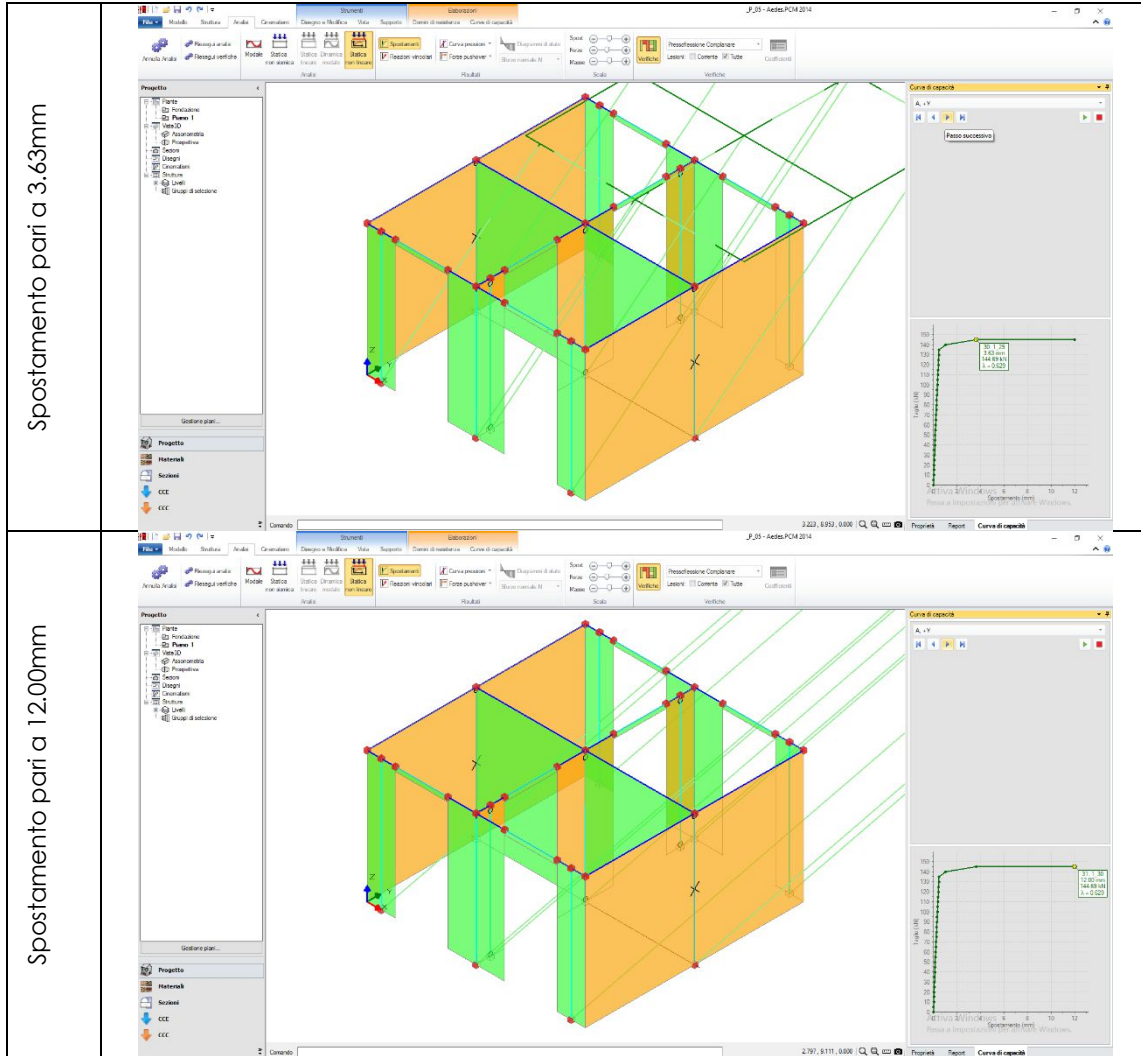
**i. Curva di pushover**



**b. Aedes 1**







**i. Storia evolutiva**

Si riporta la storia evolutiva.

**Analisi Pushover VAPY\_ :**  
 Stati limite SLV, SLO e SLD - Distr.Forze (A) - Direzione: +Y  
 percorso di archiviazione risultati:  
 C:\Aedes2014\Pcm\Progetti\\_P\_05\SNL\VAPY\_

**Causa del termine di costruzione della curva di capacità:**  
 La struttura è diventata labile (spostamenti inaccettabili)

**Configurazione strutturale al termine di costruzione della curva di capacità:**  
 (la costruzione della curva ha richiesto l'elaborazione di una sola curva intermedia)

**Aste che divengono (o sono già divenute) non reagenti assialmente (traz./compr. eccessiva):**  
 -

**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (complanare):**  
 -

**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (ortogonale):**  
 -

**Aste non ancora al limite ultimo, ma con degrado vincolare:**  
 1,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 15,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 29,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 32,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 35,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
 (elenco per ordine di plasticizzazione)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
					(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
32	1	7	e	S	4.42	0.014	2.400	1.35	1.778	491.11	2.84	-2.85	0.998
1	1	11	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-38.37	0.961
15	1	11	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-38.37	0.961
29	1	14	e	S	3.42	0.021	2.400	1.35	1.778	245.56	1.10	-1.11	0.987
35	1	14	e	S	3.42	0.021	2.400	1.35	1.778	245.56	1.10	-1.11	0.987
32	1	28	e	B	21.47	0.066	2.400	1.35	1.778	491.11	13.33	-21.92	0.608
29	1	29	e	B	12.06	0.074	2.400	1.35	1.778	245.56	3.72	-10.85	0.343
35	1	29	e	B	12.06	0.074	2.400	1.35	1.778	245.56	3.72	-10.85	0.343

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
 (elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
					(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
1	1	11	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-38.37	0.961
15	1	11	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-38.37	0.961
29	1	29	e	B	12.06	0.074	2.400	1.35	1.778	245.56	3.72	-10.85	0.343
29	1	14	e	S	3.42	0.021	2.400	1.35	1.778	245.56	1.10	-1.11	0.987
32	1	7	e	S	4.42	0.014	2.400	1.35	1.778	491.11	2.84	-2.85	0.998
32	1	28	e	B	21.47	0.066	2.400	1.35	1.778	491.11	13.33	-21.92	0.608
35	1	14	e	S	3.42	0.021	2.400	1.35	1.778	245.56	1.10	-1.11	0.987
35	1	29	e	B	12.06	0.074	2.400	1.35	1.778	245.56	3.72	-10.85	0.343

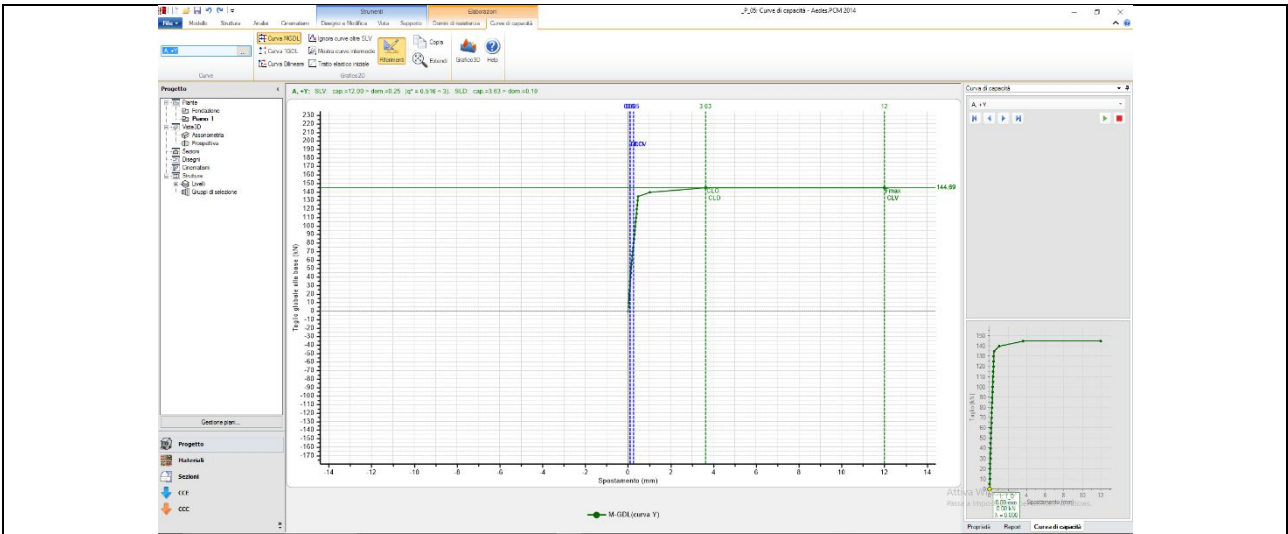
**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5)**  
 [TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine di plasticizzazione)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	F,C	fvd	Vt	V	C.Sic.
					b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )			(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
1	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	64.02	0.977
15	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	64.02	0.977

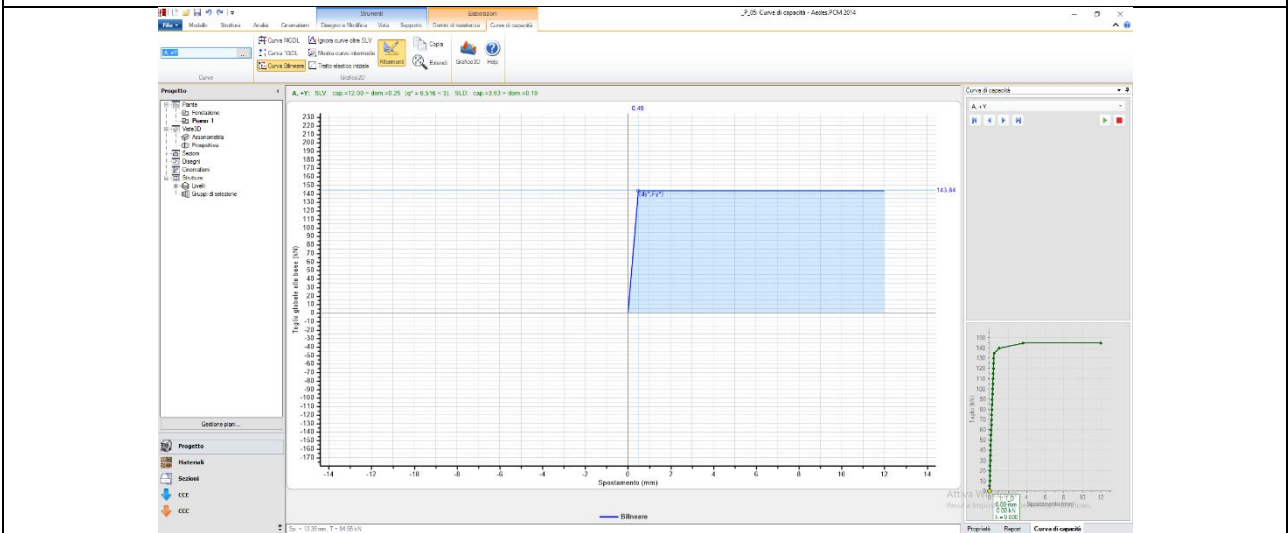
**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5)**  
 [TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	F,C	fvd	Vt	V	C.Sic.
					b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )			(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
1	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	64.02	0.977
15	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	64.02	0.977

ii. Curva di pushover

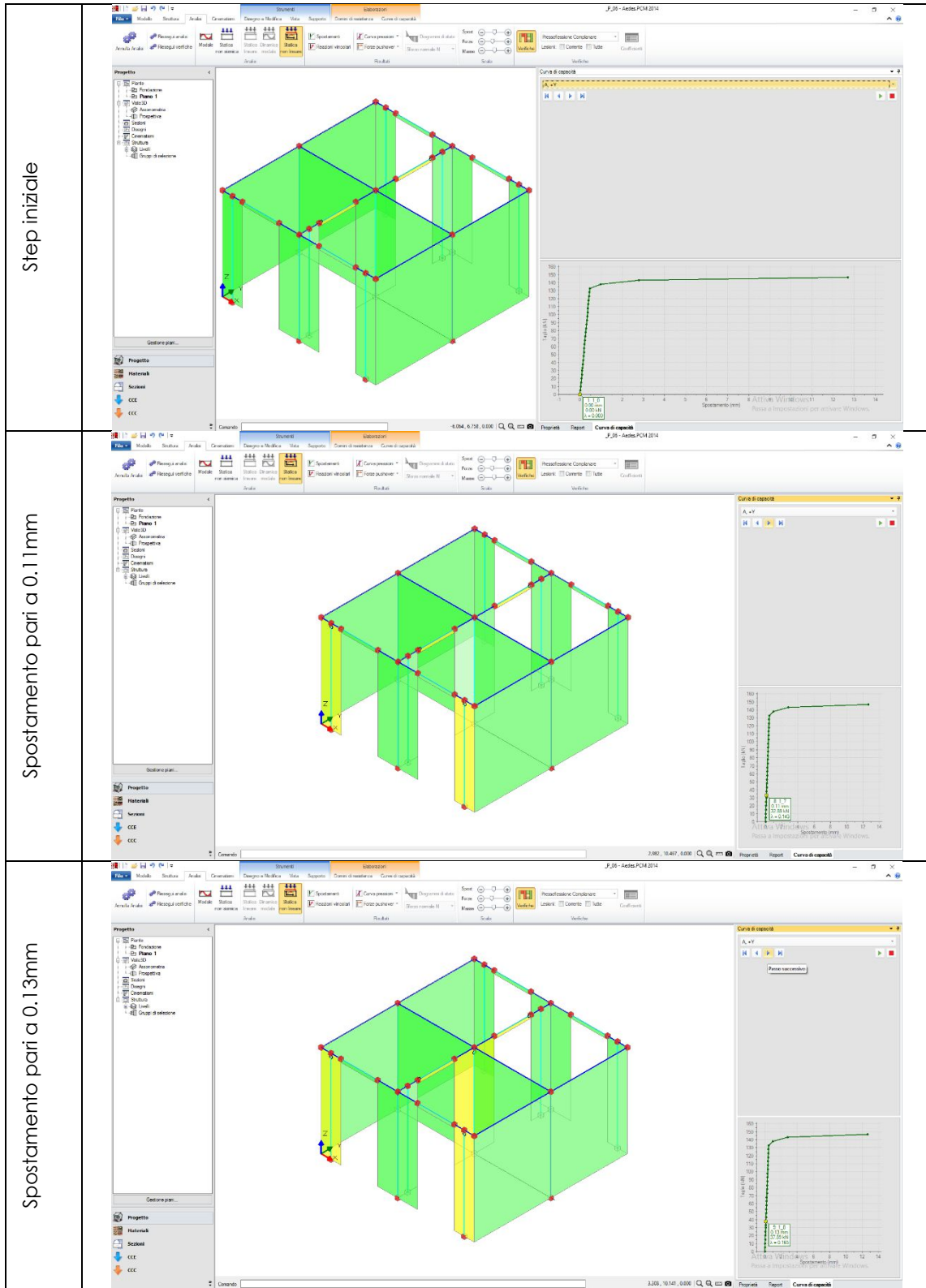


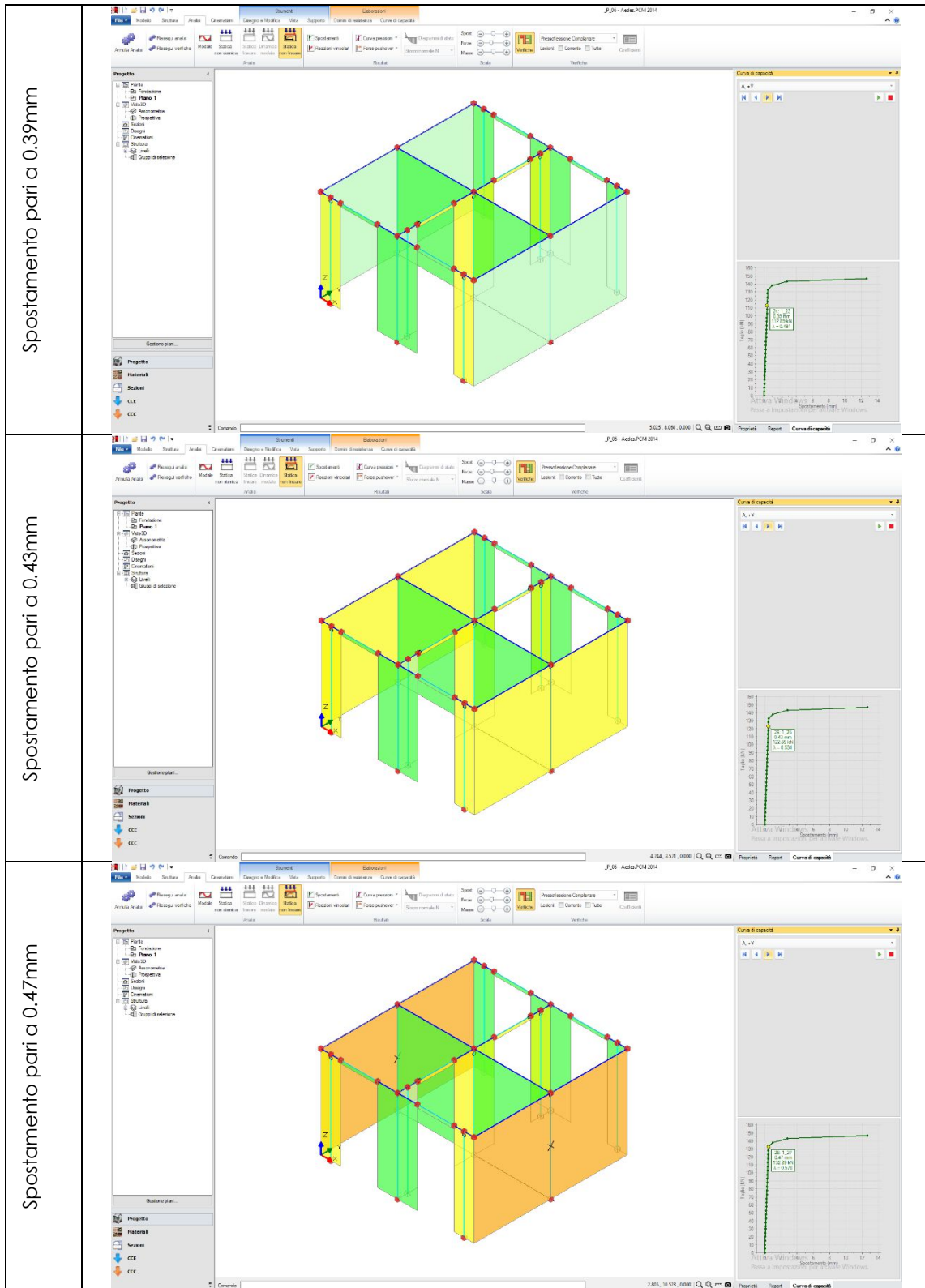
Aedes 1-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

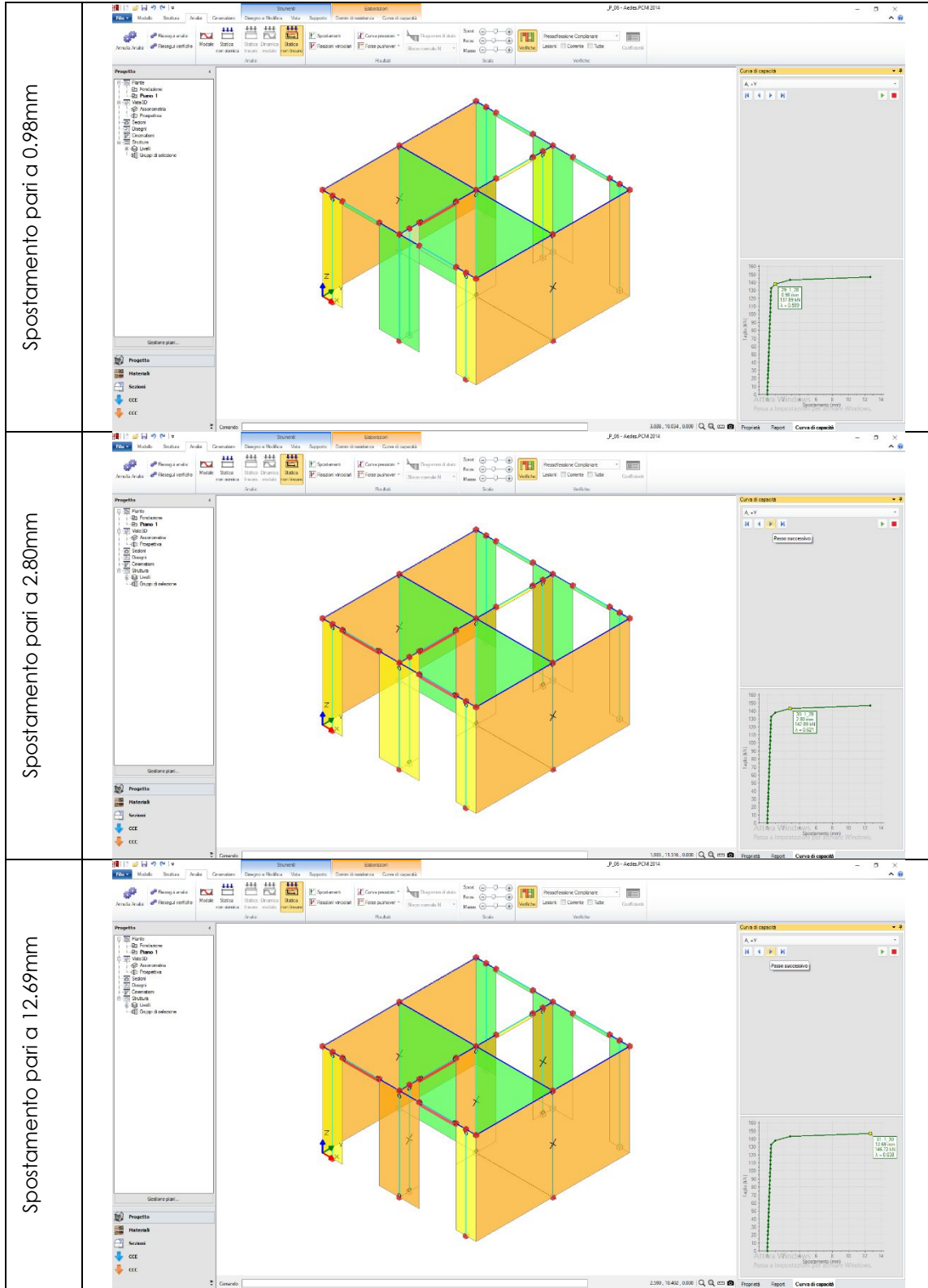


Aedes 1-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

c. **Aedes 2**







Spostamento pari a 0.98mm

Spostamento pari a 2.80mm

Spostamento pari a 12.69mm

**i. Storia evolutiva**

Si riporta la storia evolutiva.

**Analisi Pushover VAPY :**  
 Stati limite SLV, SLO e SLD - Distr.Forze (A) - Direzione: +Y  
 percorso di archiviazione risultati:  
 C:\Aedes2014\Pcm\Progetti\\_P\_06\SNL\VAPY\_

**Causa del termine di costruzione della curva di capacità:**  
 Al piano 1 tutti gli elementi verticali sono collassati sotto azioni complanari

**Configurazione strutturale al termine di costruzione della curva di capacità:**  
 (la costruzione della curva ha richiesto l'elaborazione di una sola curva intermedia)

**Aste che divengono (o sono già divenute) non reagenti assialmente (traz./compr. eccessiva):**  
 -

**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (complanare):**  
 1,Maschio in mur.ordinaria  
 15,Maschio in mur.ordinaria  
 29,Maschio in mur.ordinaria  
 32,Maschio in mur.ordinaria  
 35,Maschio in mur.ordinaria

**Aste che raggiungono (o hanno già raggiunto) il limite ultimo (ortogonale):**  
 -

**Aste non ancora al limite ultimo, ma con degrado vincolare:**  
 7,Maschio in mur.ordinaria,000011,000011  
 13,Striscia,000010,000010  
 14,Striscia,000010,000010  
 38,Striscia,000010,000010

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
 (elenco per ordine di plasticizzazione)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
					(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
4	1	7	e	S	-0.01	-0.000	2.400	1.35	1.778	245.56	0.00	0.00	0.000
10	1	7	e	S	-0.01	-0.000	2.400	1.35	1.778	245.56	0.00	0.00	0.000
32	1	9	e	S	4.52	0.014	2.400	1.35	1.778	491.11	2.91	-3.26	0.891
35	1	23	e	S	0.32	0.002	2.400	1.35	1.778	245.56	0.10	-0.12	0.853
1	1	25	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-37.62	0.980
15	1	25	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-37.62	0.980
32	1	28	e	B	21.48	0.066	2.400	1.35	1.778	491.11	13.33	-20.89	0.638
38	1	28	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000
7	1	29	e	S	-7.40	-0.023	2.400	1.35	1.778	491.11	0.00	0.00	0.000
13	1	29	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000
13	1	29	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000
14	1	29	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	-0.01	0.000
14	1	29	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	-0.01	0.000
29	1	29	e	B	26.61	0.164	2.400	1.35	1.778	245.56	7.69	-10.11	0.760
35	1	29	e	B	8.62	0.053	2.400	1.35	1.778	245.56	2.70	-7.89	0.342
7	1	30	e	B	-36.19	-0.111	2.400	1.35	1.778	491.11	0.00	0.00	0.000
29	1	30	e	S	63.73	0.392	2.400	1.35	1.778	245.56	15.19	-20.15	0.754
7	1	30	e	B	-25.46	-0.078	2.400	1.35	1.778	491.11	0.00	0.00	0.000
29	1	30	e	S	53.00	0.326	2.400	1.35	1.778	245.56	13.40	-16.69	0.803

**VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1)**  
 (elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva	Passo	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	F,C	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
					(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
1	1	25	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-37.62	0.980
4	1	7	e	S	-0.01	-0.000	2.400	1.35	1.778	245.56	0.00	0.00	0.000
7	1	30	e	B	-25.46	-0.078	2.400	1.35	1.778	491.11	0.00	0.00	0.000
7	1	30	e	B	-36.19	-0.111	2.400	1.35	1.778	491.11	0.00	0.00	0.000
7	1	29	e	S	-7.40	-0.023	2.400	1.35	1.778	491.11	0.00	0.00	0.000
10	1	7	e	S	-0.01	-0.000	2.400	1.35	1.778	245.56	0.00	0.00	0.000
13	1	29	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000
13	1	29	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000
14	1	29	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	-0.01	0.000
14	1	29	e	B	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	-0.01	0.000
15	1	25	e	S	14.86	0.012	2.400	1.35	1.778	1888.89	36.86	-37.62	0.980
29	1	30	e	S	53.00	0.326	2.400	1.35	1.778	245.56	13.40	-16.69	0.803
29	1	30	e	S	63.73	0.392	2.400	1.35	1.778	245.56	15.19	-20.15	0.754
29	1	29	e	B	26.61	0.164	2.400	1.35	1.778	245.56	7.69	-10.11	0.760
32	1	9	e	S	4.52	0.014	2.400	1.35	1.778	491.11	2.91	-3.26	0.891
32	1	28	e	B	21.48	0.066	2.400	1.35	1.778	491.11	13.33	-20.89	0.638
35	1	29	e	B	8.62	0.053	2.400	1.35	1.778	245.56	2.70	-7.89	0.342
35	1	23	e	S	0.32	0.002	2.400	1.35	1.778	245.56	0.10	-0.12	0.853
38	1	28	e	S	0.00	0.000	1.200	1.35	0.889	18.89	0.00	0.01	0.000

**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5)**

[TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine di plasticizzazione)

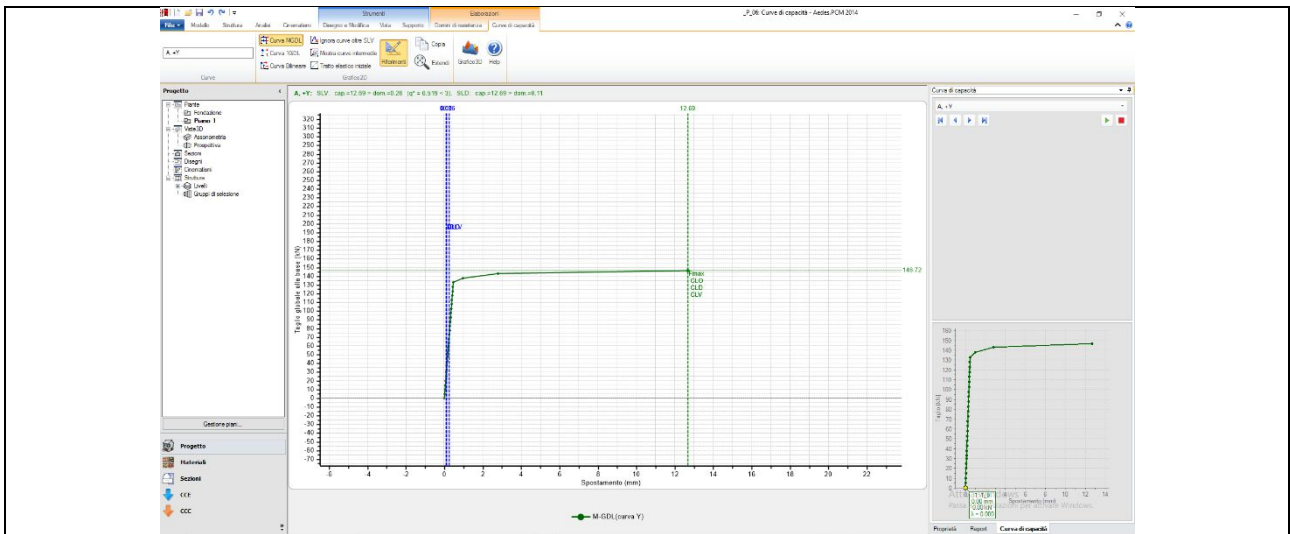
N.	Curva  int.	Passo	n/e	Sez. 	Coeff.   b	P (kN)	p	fvk0/tau0 (N/mm <sup>2</sup> )	F,C	fvd (N/mm <sup>2</sup> )	Vt (kN)	V (kN)	C.Sic.
1	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	63.34	0.987
15	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	63.34	0.987

**VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5)**

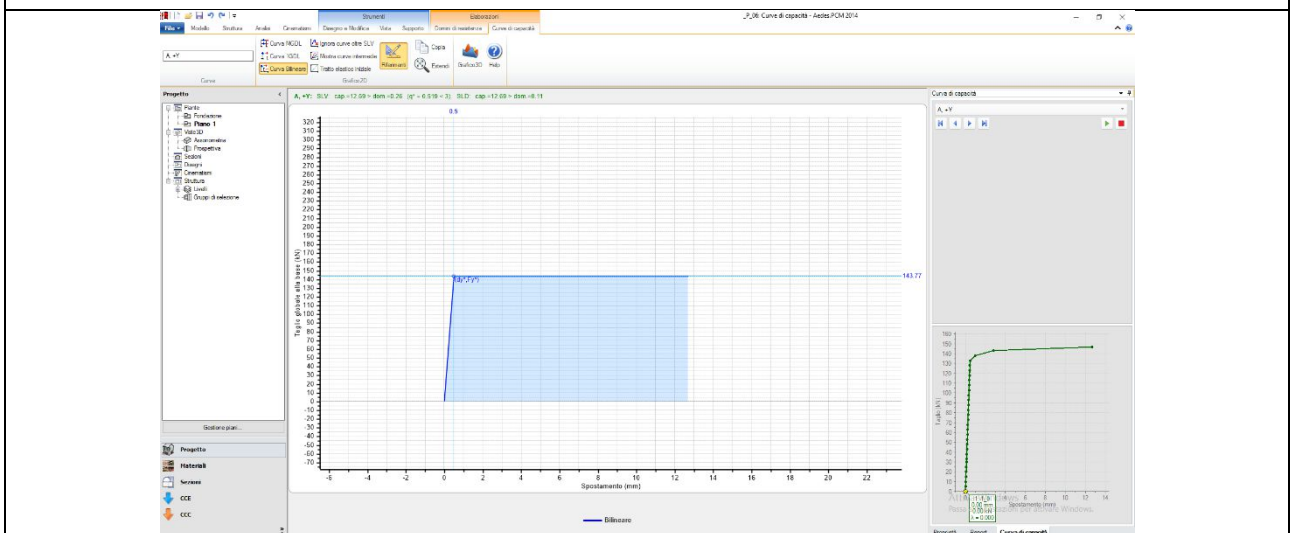
[TAGLIO COMPLANARE] (elenco per ordine degli elementi)

N.	Curva  int.	Passo	n/e	Sez. 	Coeff.   b	P (kN)	p	fvk0/tau0 (N/mm <sup>2</sup> )	F,C	fvd (N/mm <sup>2</sup> )	Vt (kN)	V (kN)	C.Sic.
1	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	63.34	0.987
15	1	27	e	S	1.000	14.86	0.012	0.060	1.35	0.050	62.55	63.34	0.987

## ii. Curva di pushover

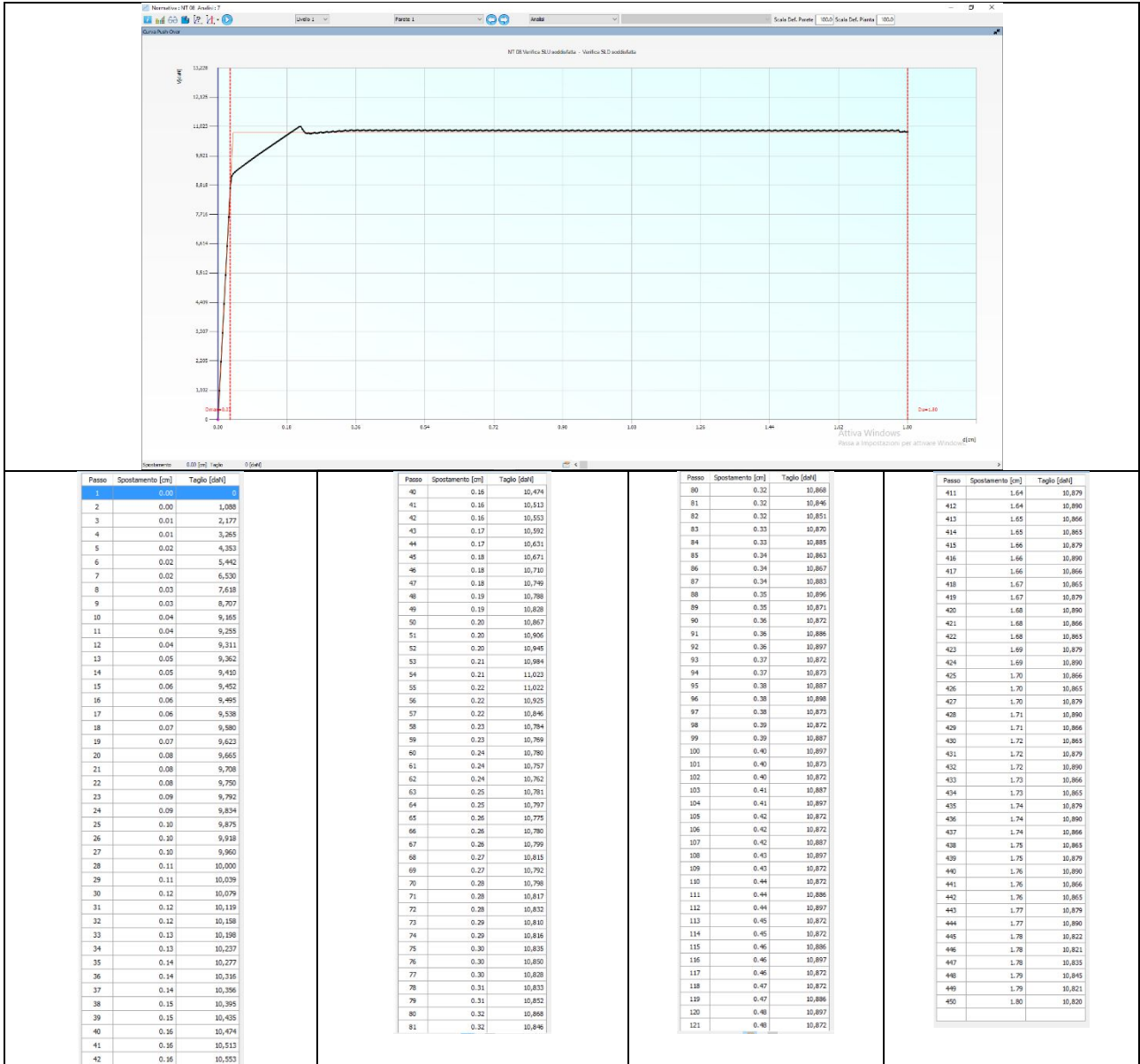


Aedes 2-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

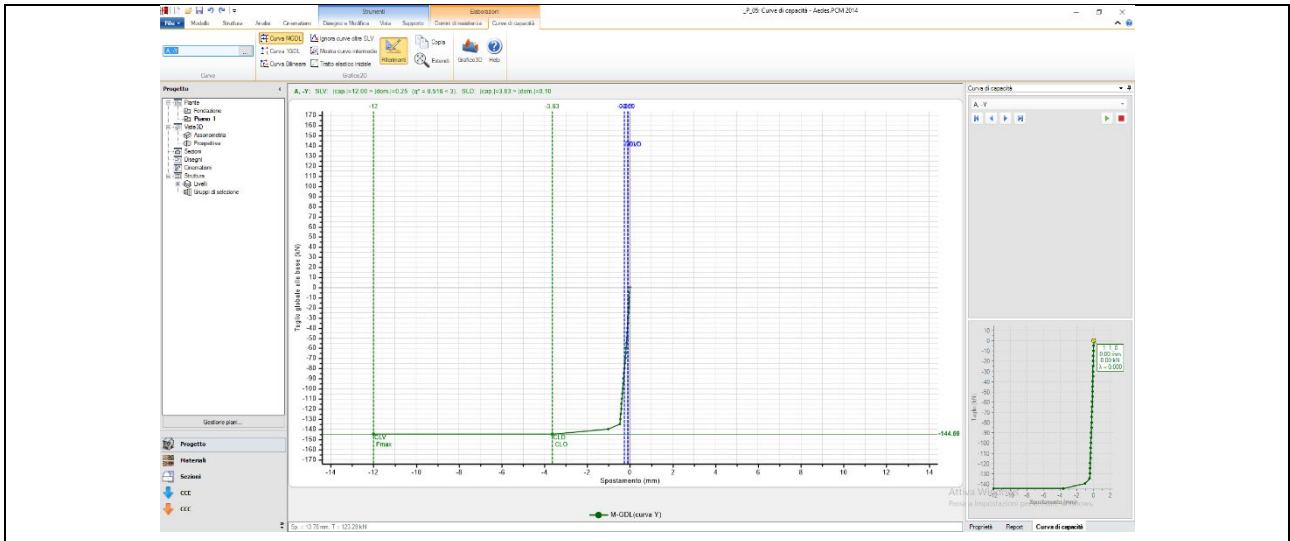


Aedes 2-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

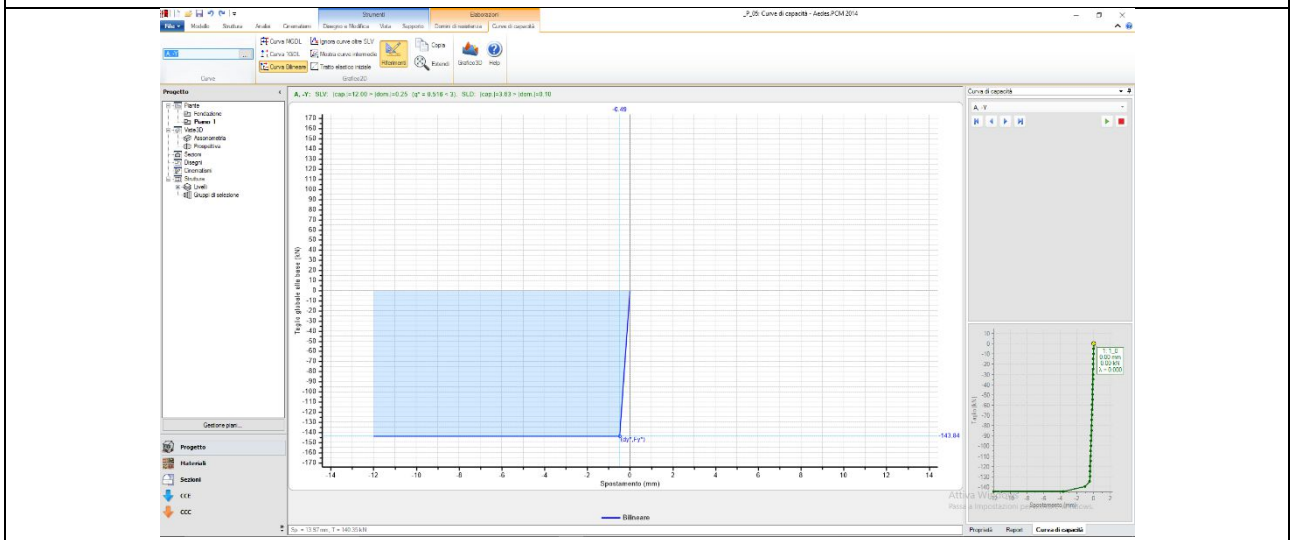
**11) Analisi pushover in direzione -y**  
**a. 3muri**



**b. Aedes 1**

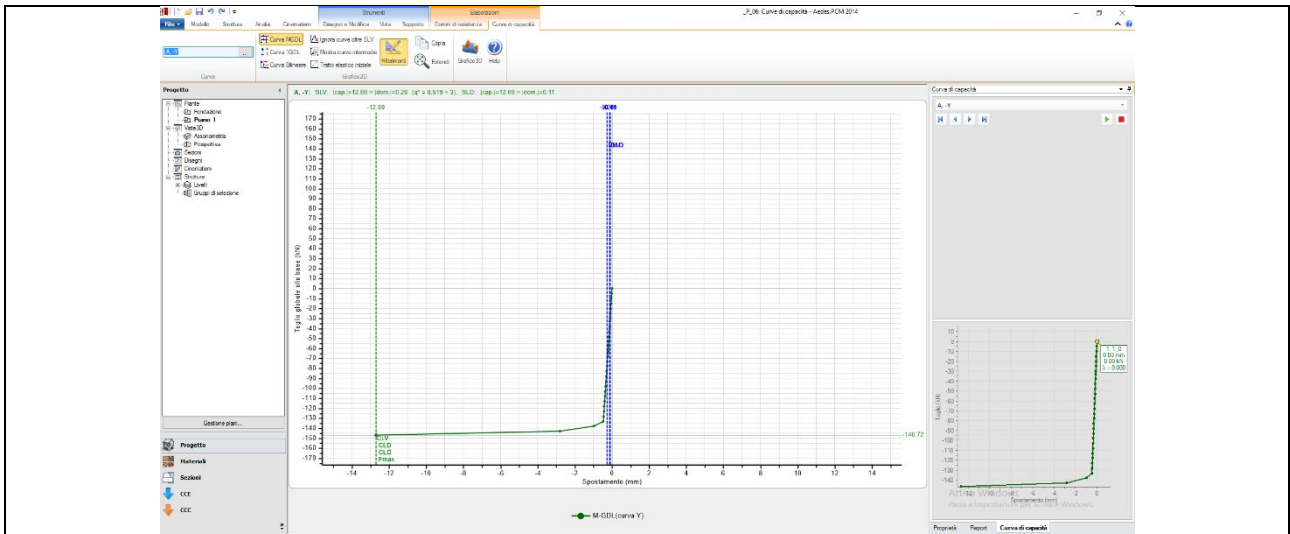


Aedes 1-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

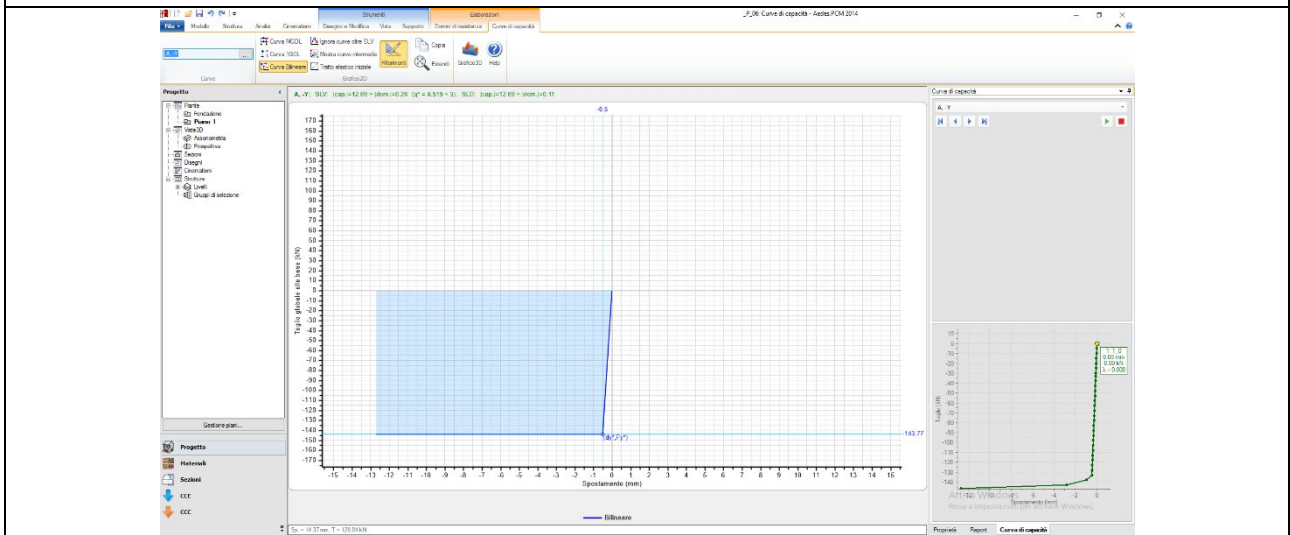


Aedes 1-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

**c. Aedes 2**



Aedes 2-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.



Aedes 2-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

### 6.2.3.1 Comparazione analisi pushover

Si riporta la comparazione tra i valori ritenuti rilevanti relativi ai tre casi proposti.

#### 1) Direzione +x e-x

## Pushover

Direzione: +X e -X

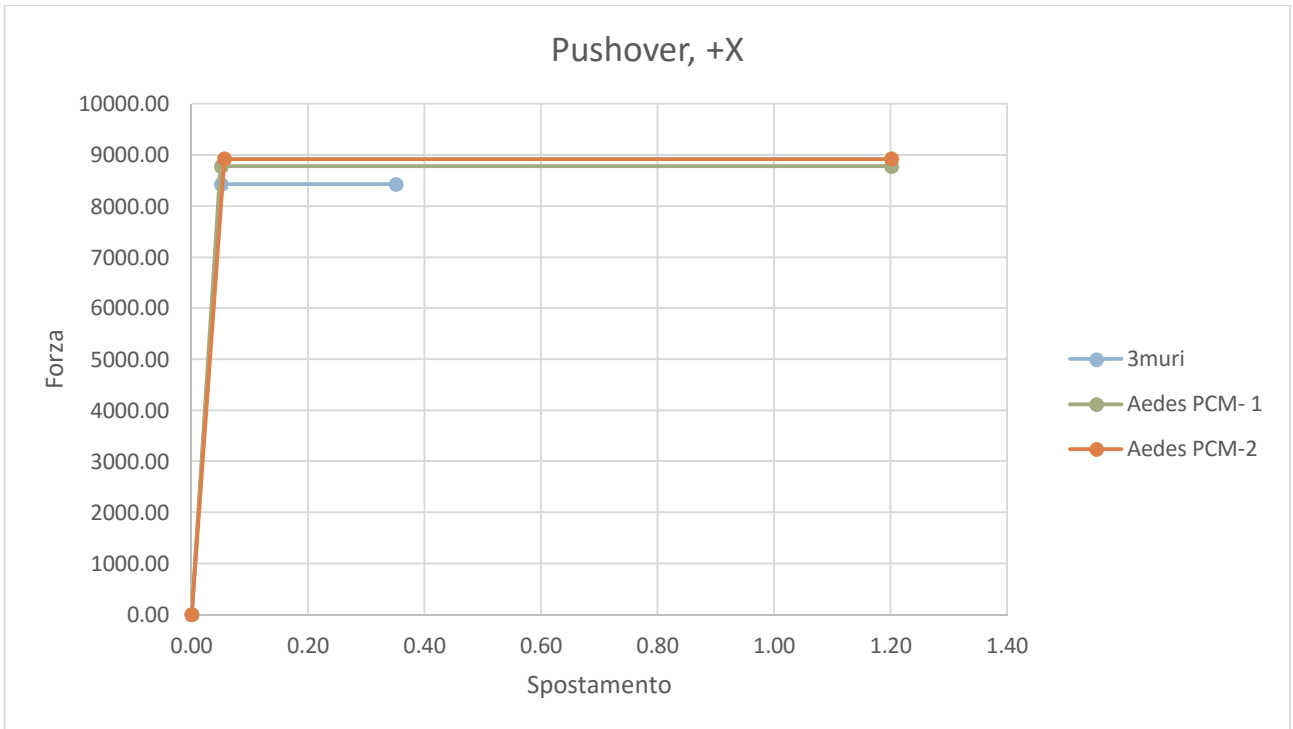
Distribuzioni: 1 modo (A) e Masse (E)

		3muri	Aedes PCM-1	Aedes PCM-2
m*	[daN]	25360.70	23460.00	23460.00
$\Gamma$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.00	1.00	1.00

		3muri	Aedes PCM-1	Aedes PCM-2
Taglio alla base	[daN]	8903.00	8820.00	9023.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	0.350	1.200	1.200
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	0.090	0.047	0.053
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		3.89	25.53	22.64
q*		1.130	0.936	0.939
T*	[s]	0.077	0.073	0.076
k*	[kN/m]	168864.96	173796.90	160346.90
F <sub>y</sub> *	[daN]	8434.00	8782.00	8926.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.050	0.050	0.056
d <sub>u</sub> *	[cm]	0.35	1.20	1.20
Energia dissipata	[daN·cm]	2741.05	10318.85	10461.27

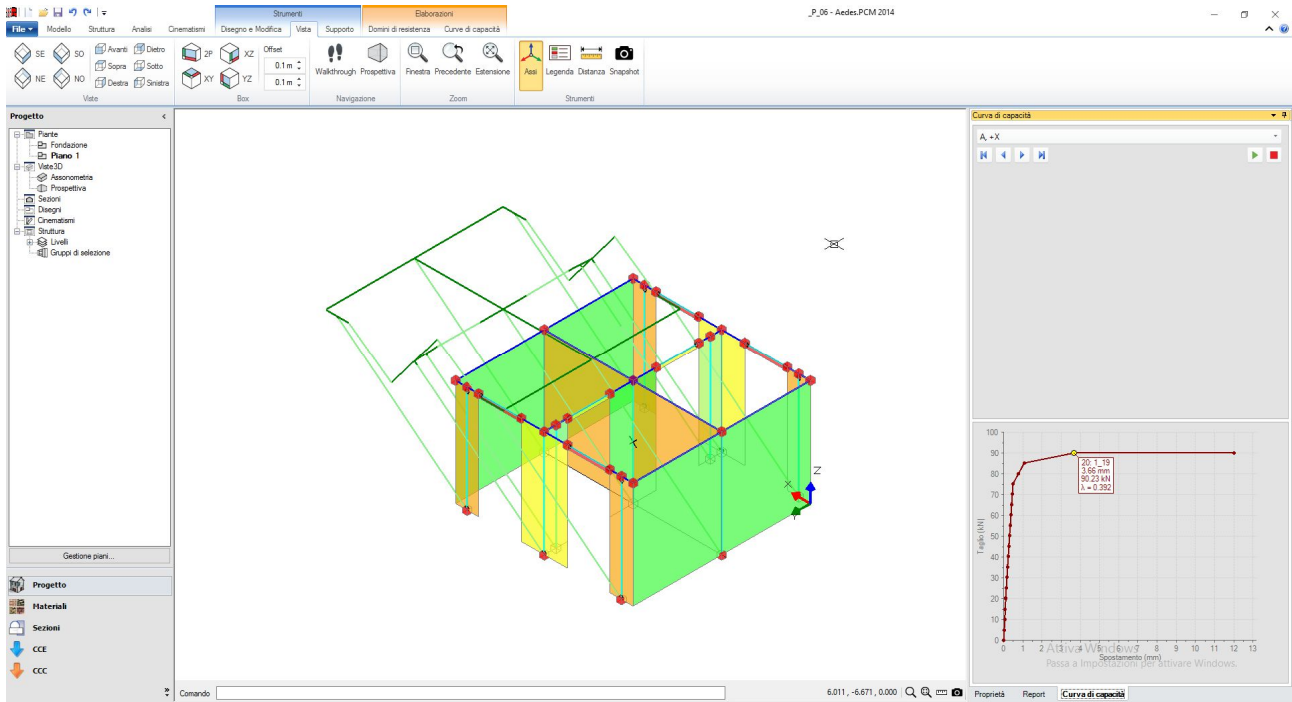
$\Delta$			
3muri- Aedes PCM-1	3muri- Aedes PCM-2	%	%
83.00	-120.00	0.93	-1.35
-0.85	-0.85	-242.86	-242.86
0.04	0.04	47.78	41.11
-21.64	-18.75	-556.53	-482.21
0.19	0.19	17.17	16.90
0.00	0.00	5.19	1.30
-4931.94	8518.06	-2.92	5.04
-348.00	-492.00	-4.13	-5.83
0.00	-0.01	0.00	-12.00
-0.85	-0.85	-242.86	-242.86
-7577.80	-7720.22	-276.46	-281.65

3muri			Aedes PCM-1			Aedes PCM-2		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	210.850	0.00	0.00	219.550	0.00	0.00	249.928
0.05	8434.00	2530.200	0.05	8782.00	10099.300	0.06	8926.00	10211.344
0.35	8434.00		1.20	8782.00		1.20	8926.00	
	TOT	2741.050		TOT	10318.850		TOT	10461.272



Si evidenzia che pur ottenendo rigidzze pressoché coincidenti, il modello proposto da 3muri raggiunge la perdita di equilibrio per uno spostamento molto inferiore pari a 0.35cm, andando ad osservare quanto accade con il medesimo spostamento sulla curva di pushover del secondo modello di Aedes si nota che anche in questo secondo caso per uno spostamento pari a 0.36cm la struttura presenta le medesime deformazioni del modello di 3muri senza tuttavia raggiungere la perdita di equilibrio.

La differenza che comporta l'interruzione solamente dell'analisi con 3muri è che la curva in Aedes dal punto esaminato in poi è piatta ovvero il taglio resistente permane costante, mentre in 3muri si ha un decremento della capacità della struttura, una volta che questa decrescita raggiunge il valore soglia pari al 20% l'analisi si arresta.



**2) Direzione +y e -y**

Si riporta il raffronto tra i valori ottenuti.

**Pushover**

Direzione +Y, -Y

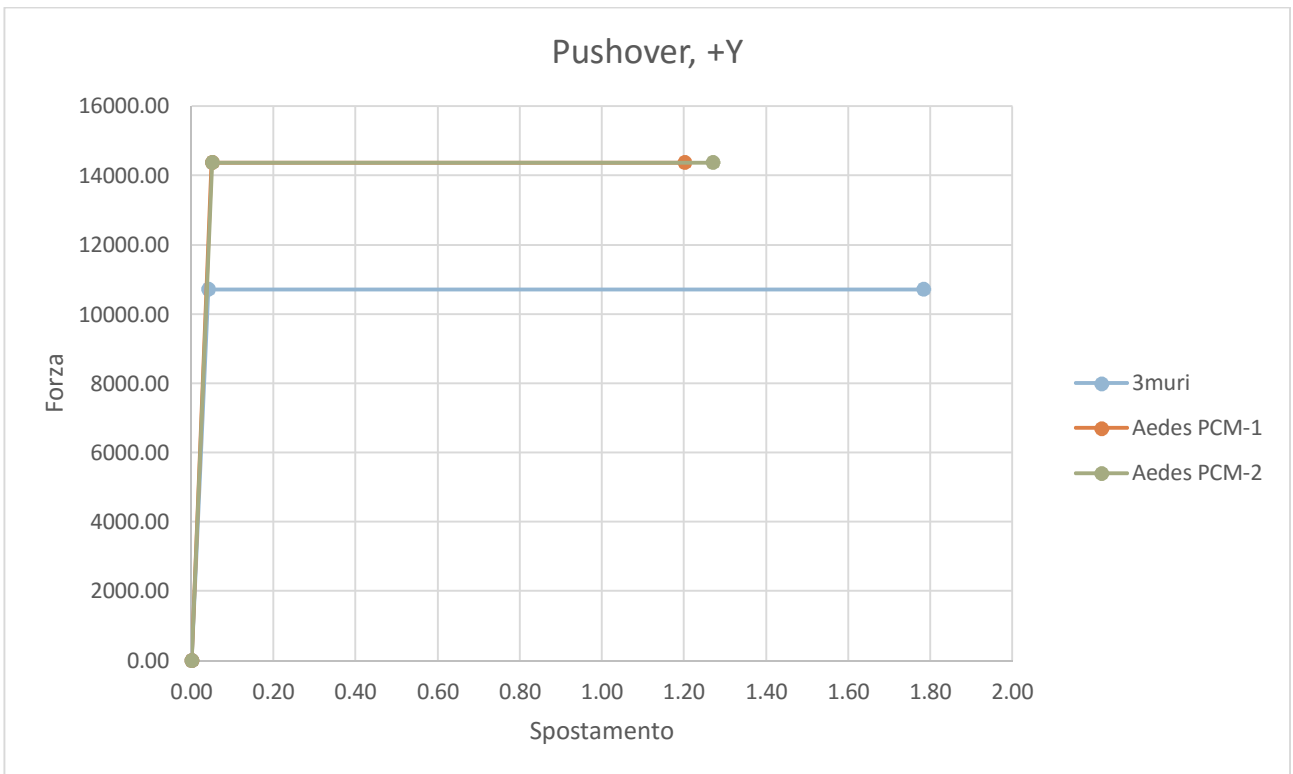
Distribuzione 1 modo (A), Masse (E)

		3muri	Aedes PCM-1	Aedes PCM-2
$m^*$	[daN]	25123.38	23460.00	23460.00
$\Gamma$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.01	1.00	1.00

		3muri	Aedes PCM-1	Aedes PCM-2
Taglio alla base	[daN]	11023.00	14469.00	14672.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.800	1.200	1.269
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	0.030	0.025	0.026
$d_u / d_{max}$		60.000	48.000	48.808
$q^*$		0.800	0.516	0.519
$T^*$	[s]	0.060	0.056	0.057
$k^*$	[kN/m]	275508.71	295332.81	285061.15
$F_y^*$	[daN]	10719.00	14384.000	14377.000
$d_y^*$	[cm]	0.040	0.049	0.050
$d_u^*$	[cm]	1.782	1.200	1.269
Energia dissipata	[daN·cm]	18888.79	16908.39	17884.99

$\Delta$			
3muri- Aedes PCM-1	3muri- Aedes PCM-2	%	%
-3446.00	-3649.00	-31.26	-33.10
0.60	0.53	33.33	29.50
0.01	0.00	16.67	13.33
12.00	11.19	20.00	18.65
0.28	0.28	35.50	35.13
0.00	0.00	6.67	5.00
-19824.09	-9552.44	-7.20	-3.47
-3665.00	-3658.00	-34.19	-34.13
-0.01	-0.01	-22.50	-25.00
0.58	0.51	32.67	28.80
1980.40	1003.80	10.48	5.31

3muri			Aedes PCM-1			Aedes PCM-2		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	214.380	0.00	0.00	352.408	0.00	0.00	359.425
0.04	10719.00	18674.408	0.05	14384.00	16555.984	0.05	14377.00	17525.563
1.78	10719.00		1.20	14384.00		1.27	14377.00	
	TOT	18888.788		TOT	16908.392		TOT	17884.988



Per quanto riguarda la direzione y si nota, invece, una differenza nel taglio massimo resistente a parità di rigidità, si ritiene, tuttavia, che tale differenza rientri in un range accettabile.

### **6.2.3.2 Commento alle analisi**

Per quanto riguarda la modellazione architettonica e strutturale, si evidenzia che nei modelli di Aedes sono stati riproposti i medesimi tratti rigidi nelle aste corrispondenti ai maschi murari che presenta 3muri al fine di poter eseguire un confronto con i medesimi dati sia per quanto riguarda le caratteristiche dei materiali che le caratteristiche geometriche degli elementi poiché queste sono le variabili che influenzano il calcolo delle rigidezze e quindi delle resistenze della struttura in esame. Per quanto riguarda i carichi vale quanto detto in precedenza ovvero che in 3muri l'estensione dei solai viene calcolata considerando gli assi degli elementi murari: in Aedes sono definiti internamente alle pareti (con esclusione dello spessore della parete), quindi tra i due c'è una differenza pari a metà dello spessore del paramento murario per ogni dimensioni lineare.

Si è proceduto alla simulazione in Aedes con un carico pari a quello trasmesso dal solaio in 3muri senza ottenere variazioni significative nei valori osservati.

Le analisi modali evidenziano una sostanziale uniformità nel calcolo delle masse ed una variazione estremamente contenuta pari al 15% del valore del periodo proprio; la forma modale prettamente traslazionale risulta colta da entrambi i programmi.

Per le analisi pushover le verifiche condotte sugli elementi murari hanno riguardato le verifiche a pressoflessione complanare e taglio per fessurazione diagonale come indicato nella Circolare n°617 esplicativa delle NTC2008 al punto C8.7.1.5 in quanto rappresentativo dei meccanismi a rottura per edifici esistenti.

Si evidenzia che, per quanto i valori ottenuti siano poco diversi nelle due modellazioni proposte in Aedes la seconda pare cogliere in maniera più aderente la sequenza di plasticizzazione dei maschi murari.

Il modello è stato strutturato in modo da poter indagare due aspetti quali il calcolo dello spostamento ultimo e l'influenza di murature piene prive di aperture.

Le analisi pushover hanno evidenziato un modo diverso dei due programmi di cogliere lo spostamento ultimo della struttura: entrambi i software conducono l'analisi fino a perdita dell'equilibrio che viene calcolata tuttavia in modo diverso, Aedes spinge l'analisi fino al raggiungimento di uno spostamento pari a 0.004 volte l'altezza di interpiano della struttura per crisi per taglio e pari a 0.006 volte l'altezza medesima per crisi per pressoflessione, 3muri invece termina il calcolo quando la variazione del taglio rispetto al taglio massimo raggiunge il 20%; questo determina nel caso in esame due punti di spostamento ultimo diversi del 243%

	A,+X; A, -X; E, +X; E, -X	A,+Y; A, -Y; E, +Y; E, -Y
	%	%
$m^*$	7.49	6.62
$\Gamma$	0.00	0.00
Taglio alla base	0.93	-31.26
$d_u$ (capacità)	-242.86	33.33
$d_{max}$ (domanda)	47.78	16.67
$d_u / d_{max}$	-482.21	20.00
$q^*$	17.17	35.50
$T^*$	5.19	6.67
$k^*$	5.04	-3.47
$F_y^*$	-4.13	-34.13
$d_y^*$	0.00	-22.50
$d_u^*$	-242.86	32.67
Energia dissipata	-276.46	10.48

Per quanto riguarda le analisi pushover, le differenze riscontrate in fase di analisi evidenziano quanto segue:

- 1) Per il taglio alla base le differenze non sono mai superiori al 1% in direzione x, ed al 31% in direzione y
- 2) Per la massa partecipante le differenze sono pari all'8% in x e al 7% in y;
- 3) Per il valore di  $q^*$  le variazioni sono nell'ordine del 17% in direzione x e del 36% in direzione y
- 4) Per il fattore di partecipazione modale non si ha variazione tra i due programmi data la semplicità del modello;
- 5) Per le rigidezze si evidenziano scarti ridotti non superiori al 5%, che confermano la ridotta variabilità dei differenziali di massa partecipante e periodo non superiori al 10%.

### 6.3 PADIGLIONE MORSELLI, REGGIO EMILIA

L'edificio oggetto del presente studio rappresenta uno dei principali padiglioni su cui si articolava l'ex-complesso ospedaliero dell'AUSL (Azienda Unità Sanitaria Locale) di Reggio-Emilia, ora destinato ad ospitare attività di segreteria e laboratori della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi del capoluogo emiliano.

Secondo fonti e documenti originali, la progettazione e la realizzazione dell'intero complesso risale ai primi anni del ventesimo secolo, riflettendo la tipica concezione dell'epoca che vedeva l'ospedale quale insieme di cliniche distinte e separate all'interno un unico grande lotto di terreno.

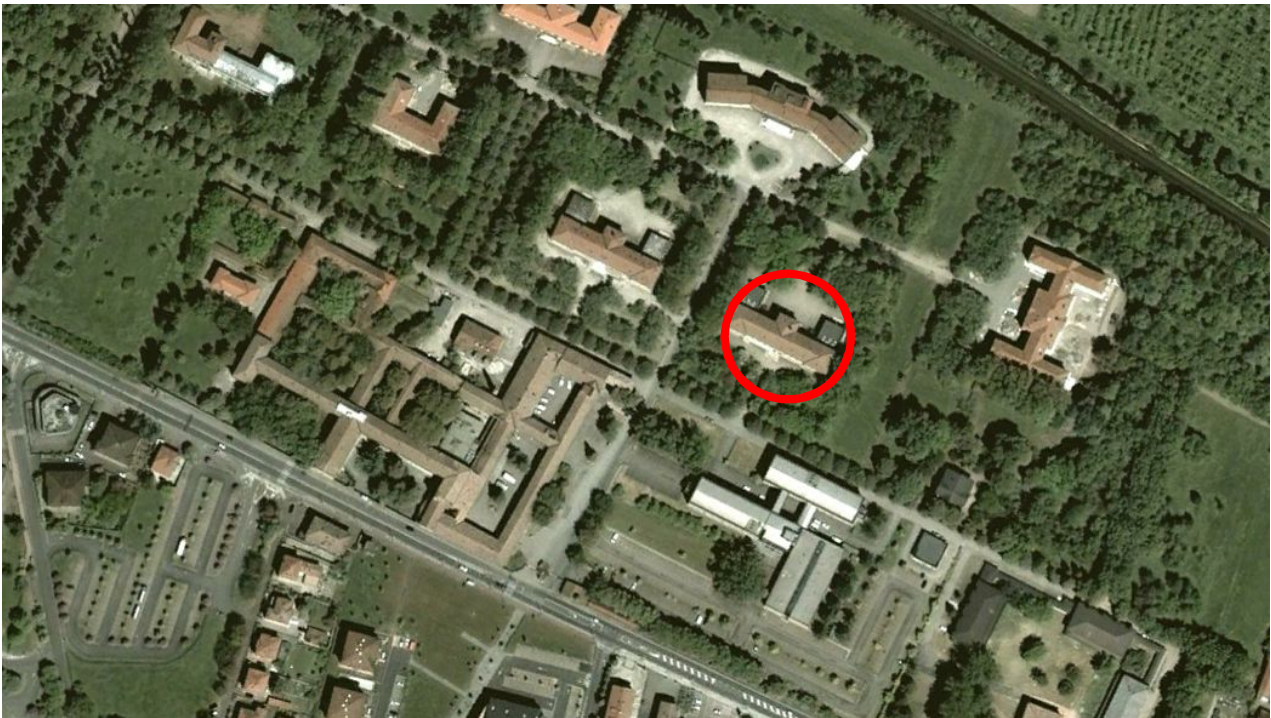


Figura 6-12. Planimetria generale di inquadramento dell'ex-complesso ospedaliero di Reggio Emilia

In particolare, l'oggetto della presente analisi è un edificio comunemente noto come "Padiglione Morselli", localizzato nella zona centrale a nord est dell'intero abitato e pertanto nevralgica del complesso ospedaliero.



Figura 6-13. Prospetto nord Padiglione Morselli

Con l'obiettivo di conseguire un livello di conoscenza elevato che permettesse analisi quanto più veritiere ed attendibili possibili, le indagini in situ hanno previsto una approfondita campagna di rilievi geometrico e materici.

Al rilievo geometrico generale per il quale ci si è appoggiati ad una restituzione consegnataci direttamente dalla Direzione Tecnica opere e patrimonio dell'Università, si sono affiancate

- 1) Un'accurata rilevazione delle sezioni delle membrature lignee della copertura;
- 2) L'esecuzione di saggi sulle murature e sulle sezioni dei solai esistenti;
- 3) La realizzazione di uno scavo fino a raggiungere il piano ed il livello di fondazione.

A fianco delle suddette attività, documentate da una ricca rendicontazione di carattere fotografico digitale, sono state disposte ulteriori verifiche ed analisi riguardanti le membrature lignee della copertura, espletate tramite una campagna completa di saggi del tipo Resistograph sulle varie sezioni delle capriate e dei correnti in legno, nonché, a completamento della caratterizzazione compiuta, una serie di analisi di laboratorio che documentassero nel modo più completo la patologia riscontrabile sulle superfici legnose e la conseguente indicazione dei prodotti più adatti per il trattamento della stessa.

La ricchezza ed esattezza delle informazioni raccolte relative alla geometria, ai dettagli costruttivi ed alle proprietà meccaniche dei materiali definisce un livello di conoscenza elevato ed accurato per l'analisi dell'edificio, del tutto rispondente ai requisiti richiesti dal livello di conoscenza LC2 della vigente normativa italiana. Per questo motivo il fattore di confidenza FC considerato nel corso delle analisi sarà posto pari ad 1.2, secondo quanto esposto nel capitolo C8A.2 delle *Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni* relative al DM del 14 Gennaio 2008.

Inoltre, l'alto livello di accuratezza autorizza l'adozione di qualsiasi metodi di analisi, lineare o non-lineare, statico o dinamico, secondo quanto riportato nella Tabella C8A.2 delle *Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni*.

Dal punto di vista geotecnico nel giugno 2013 sono state condotte indagini penetrometriche, sondaggi a rotazione, prospezione MASW dalla società Geolog volte alla caratterizzazione geomeccanica dell'area in cui sorge l'edificio.

L'area in esame è caratterizzata da una bancata ghiaiosa di fondo il cui tetto è stato individuato a -25m, cui segue un deposito costituito prevalentemente da argille con subordinati livelli di limo e loam.

All'interno dell'ammasso coesivo trova spazio un paleo alveo di ghiaia medio fine e sabbia con ciottoli sparsi.

Dalla prospezione MASW è stato possibile ricavare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $v_{s,30}$  che risulta pari a 243.93 m/s che ascrive i terreni indagati nella categoria C.

Si è inoltre indagato il rischio di liquefazione che risulta assente, per maggiori informazioni si veda la relazione geotecnica allegata.

### 6.3.1 Descrizione della struttura esistente

Come ricordato, l'oggetto del presente progetto di intervento è un edificio comunemente noto come "Padiglione Morselli", localizzato nella zona centrale a nord est dell'intero abitato e pertanto nevralgica del complesso ospedaliero.

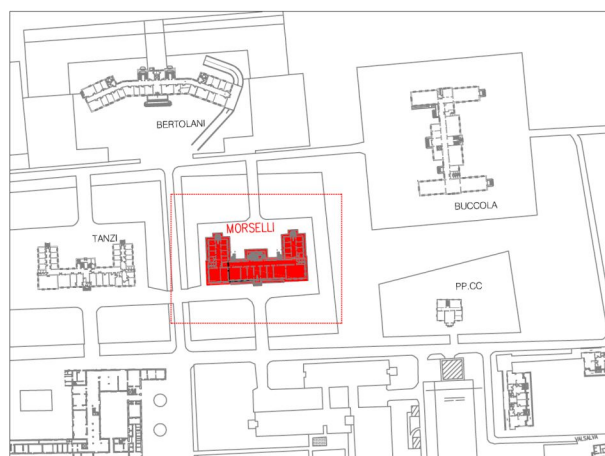


Figura 6-14 Inquadramento generale Padiglione Morselli

Tale edificio si articola principalmente su due livelli abitabili fuori terra e da un livello ispezionabile di copertura destinato ad ospitare impianti. Lo sviluppo altimetrico dell'edificio prevede per il primo piano un'altezza netta pari a 4.74 m, per il secondo di 4.56 m mentre il livello di copertura è caratterizzato da pareti perimetrali di altezza pari a 1.96 m. L'intero edificio è poi sormontato da un tetto a padiglione con struttura lignea articolato su ben dieci capriate.



Figura 6-15 Prospetti Principali Padiglione Morselli

Planimetricamente l'edificio si presenta con forma rettangolare regolare alle cui estremità si innestano delle ali secondarie andando a definire la tipica conformazione ad U adottata nei padiglioni ospedalieri di primo novecento. Le dimensioni in pianta vantano ben 56.40 m x 11.90 m per la zona centrale e 25.10 m x 11.50 m per le ali secondarie.

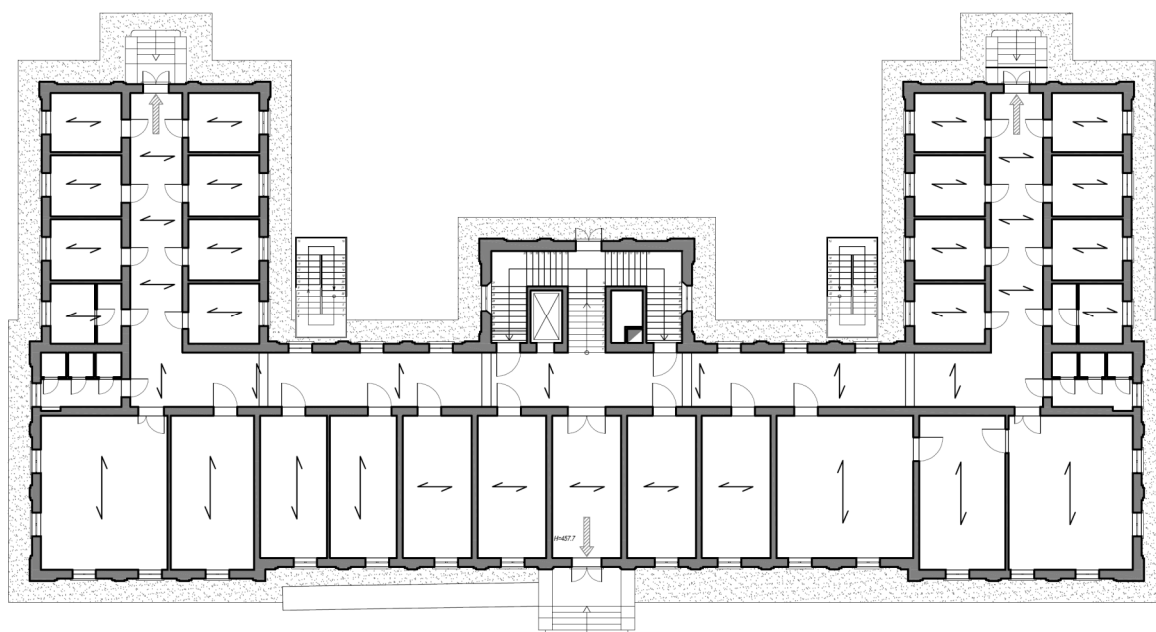


Figura 6-16 Planimetria piano terra del Padiglione Morselli

Occorre inquadrare l'argomento anche da un punto di vista strettamente normativo.

Il Padiglione Morselli si configura come un edificio esistente vincolato "ope legis" (edificio di più di 50 anni di pubblica proprietà) dal punto di vista della tutela storico artistica così come previsto per il Dlgs 42 /2004 e come precisato alla Direttiva Presidente Consiglio dei Ministri 09/02/2011, ma al tempo stesso tale da considerarsi di rilevante importanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (Delibera di Giunta Regionale n.1885/2009 del 2 Novembre 2009 punto B2.1.3. Strutture Universitarie), la cornice normativa entro la quale ci si muove risulta appunto essere quello degli edifici, esistenti, vincolati ed al tempo stesso di rilevante importanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

### **1) Modellazione**

All'interno dei modelli realizzati con Aedes PCM e 3muri sono stati rigorosamente riportate le dimensioni degli elementi strutturali così come definiti in fase di rilievo.

Oltre al rilievo geometrico esteso agli elementi strutturali e non in fase di anamnesi è stata affrontata una ricerca storico documentale che non ha tuttavia fatto emergere aspetti di rilievo confermando di fatto che la struttura non ha subito rimaneggiamenti invasivi, gli unici interventi evidenziati hanno riguardato l'inserimento di reti tecnologiche con realizzazione di forature di ampie dimensioni in corrispondenza degli archi posti nel corridoio del piano rialzato che risultano, pertanto, ora inefficaci nel collegare i paramenti murari limitrofi e non sono stati pertanto inseriti nei modelli globali.

Sono stati come già ricordato effettuati saggi sulla muratura, sui solai e sulle membrature lignee presenti nel sottotetto.

La struttura esistente è stata sottoposta ad un accurato ciclo di indagini preliminari che hanno comportato anche scavi per l'identificazione del tipo di fondazione e della quota di appoggio della stessa, saggi nei solai per identificarne tipologia ed orditura e prelievi di campioni di muratura e successive analisi di laboratorio nonché il rilievo delle lesioni delle facciate e degli elementi lignei di copertura.



6-17\_Murature, carotaggi, foro



6-18\_Murature, carotaggi, carote



6-19\_Scavo fondazione.

Per quanto riguarda i solai di interpiano sono stati eseguiti tre saggi in primo dei quali è stato eseguito a piano terra a lato dell'ingresso, nel seguito viene riportata la stratigrafia riscontrata.

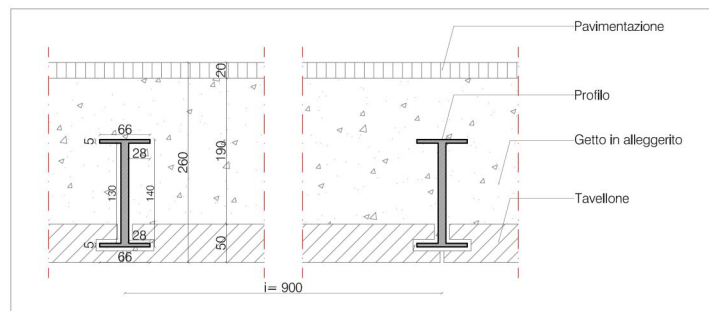


Figura 6-20\_Tipologia solaio 01

Il secondo e terzo saggio sono stati eseguiti nel piano sottotetto, nel seguito viene riportata la stratigrafia riscontrata.

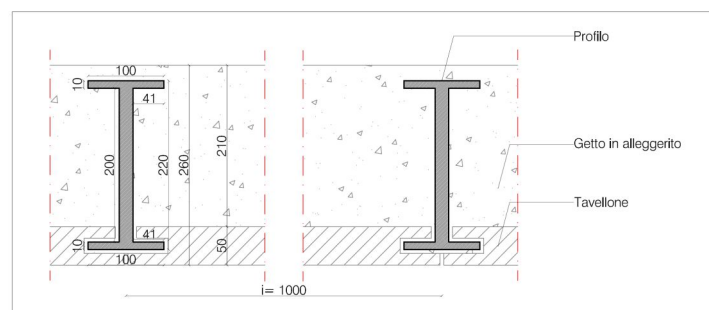


Figura 6-21\_Tipologia solaio 02

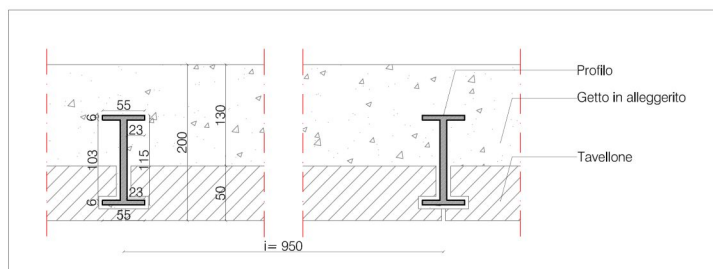


Figura 6-22\_Tipologia solaio 03



6-23\_Elementi lignei di copertura, identificazione degli elementi e delle problematiche riscontrate.

Durante la fase di rilievo propedeutica all'analisi si sono riscontrate le seguenti vulnerabilità:

- 1) Strutture lignee di copertura ammalorate e mancanza di elementi metallici di connessione tra i diversi componenti; si prevede il posizionamento di connessioni e rinforzi metallici sugli elementi lignei delle capriate esistenti.
- 2) Assenza di solaio di copertura rigido nel proprio piano ed in grado di garantire comportamento scatolare degli elementi murari sottostanti



6-24\_Elementi lignei di copertura, identificazione degli elementi.



6-25\_Elementi lignei di copertura, identificazione delle problematiche riscontrate.



6-26\_Elementi lignei di copertura.



6-27\_Elementi lignei di copertura.

- 3) Presenza di lesioni concentrate in particolare nella zona esterna ed antistante alle testate delle varie capriate in corrispondenza delle murature del livello superiore (al di sopra del solaio di calpestio del piano di sottocopertura).



6-28\_Lesioni della parte sommitale della muratura in corrispondenza delle capriate lignee.

Analizzate le diverse e possibili azioni che potrebbero aver causato tali lesioni si è valutato criticamente che, in realtà, gli agenti atmosferici e le infiltrazioni, operanti sui materiali utilizzati per realizzare i rivestimenti ed i cornicioni (betoncino o malta cementizia/ bastarda con inerte piuttosto fine, non armata), ovvero con elementi lapidei, abbiano determinato, in via prioritaria, i fenomeni di fessurazione là riscontrabili.

Si evidenzia infatti che, a tergo delle capriate, in corrispondenza degli appoggi, la sezione di muratura risulta indebolita nello spessore, mentre il rivestimento ricopre con continuità tutta la parte alta della facciata, per cui, anche i semplici fenomeni termici e di imbibizione dovuti alla mancanza di adeguata protezione dall'acqua delle testate (compreso anche il potenziale

fenomeno di rigonfiamento delle sezioni lignee inserite), potrebbero aver causato il complesso di lesioni riscontrabili in sito.

Un'altra importante componente d'azione potrebbe poi aver influito sulla formazione delle suddette fessurazioni: l'azione Sismica di "piano rigido", in assenza di un serio sistema di controventamento di falda, potrebbe nel tempo aver agito assoggettando, con uno sforzo di trazione e successiva ricomprensione e mediante l'attrito tra copertura e murature, sul paramento murario sommitale, così da ingenerare lo stato fessurativo di facciata in corrispondenza degli indebolimenti di sezione costituiti dalle tasche di alloggiamento delle capriate.

La struttura risulta priva di un cordolo sommitale.

## **2) Vincolamento**

La muratura costituente l'edificio presenta una buona tessitura con letti di malta di spessore pari a 1 cm, i giunti appaiono debitamente sfalsati e le murature ortogonali debitamente ammorsate, si è ritenuto di poter considerare i vincoli esistenti tra i diversi paramenti come debitamente efficaci.

La modellazione effettuata ha previsto l'inserimento di solai rigidi a tutti i piani in considerazione di quanto segue:

- 1) Le strutture voltate del piano terra (solaio in putrelle e voltini) presentano una freccia molto contenuta e si ritiene al di sopra di esse sia presente una soletta in conglomerato cementizio armato come nei piani superiori;
- 2) I solai piani di interpiano, come evidenziato dai saggi, presentano una soletta con spessore pari a 5cm come richiesto dalle NTC2008;
- 3) Il solaio di copertura attualmente non rigido nel piano in quanto formato da membrature lignee e piastrelle verrà interessato da interventi inserimento di un tavolato doppio maschiato debitamente connesso ai travetti cui verranno inchiodate piattabande metalliche al fine di garantire il comportamento rigido della copertura durante lo scuotimento sismico e consentire la corretta distribuzione dei carichi sulla muratura sottostante e sui maschi murari coinvolti dall'azione sismica complessiva.

Sono stati indagati il modello proposto da 3muri, e quattro modelli proposti da Aedes in cui sono state fatte le quattro ipotesi illustrate al Paragrafo 6.1.

### 6.3.2 Analisi modale

#### 1) 3muri

Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	19	0.00
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29

Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29

Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29

Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29

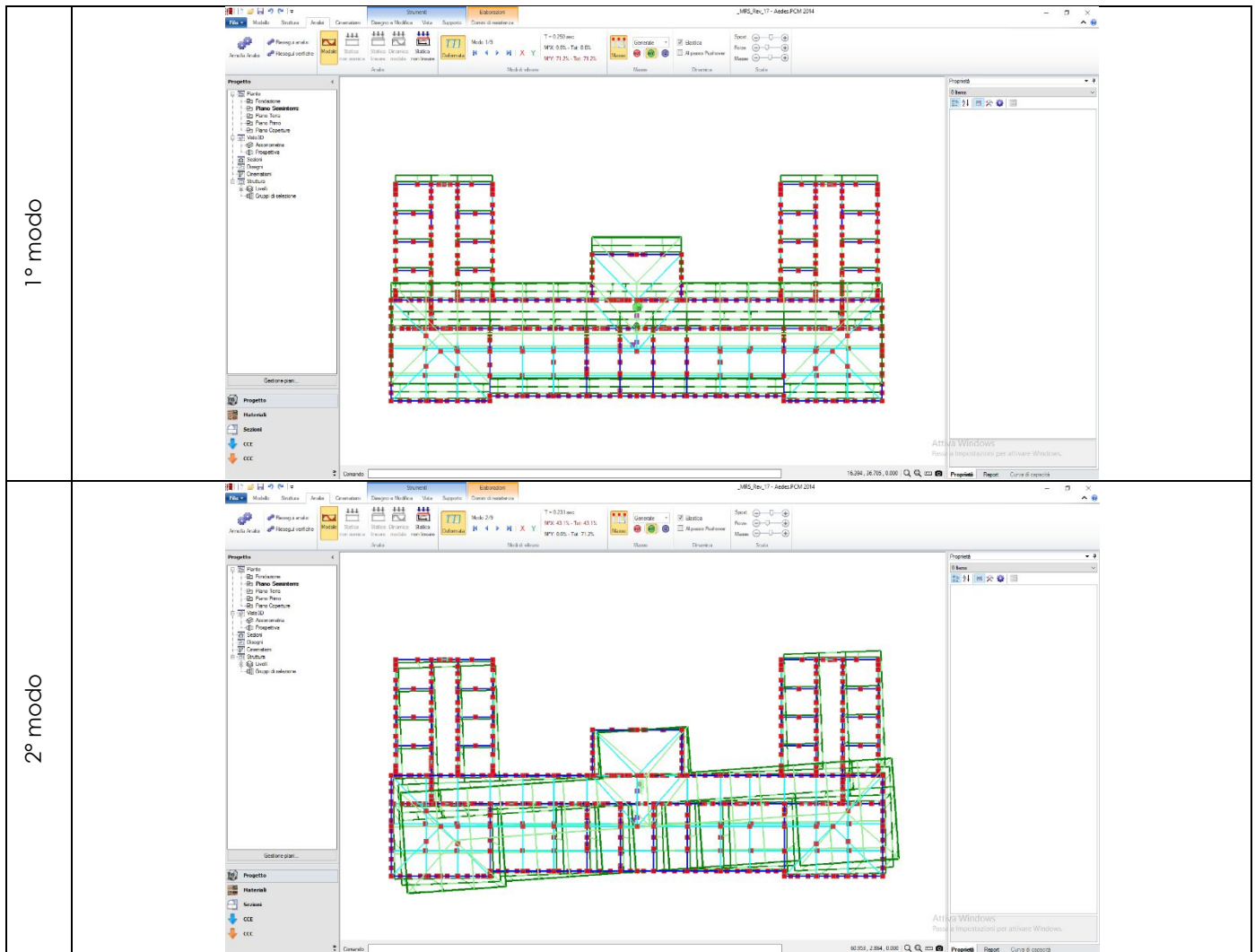
  

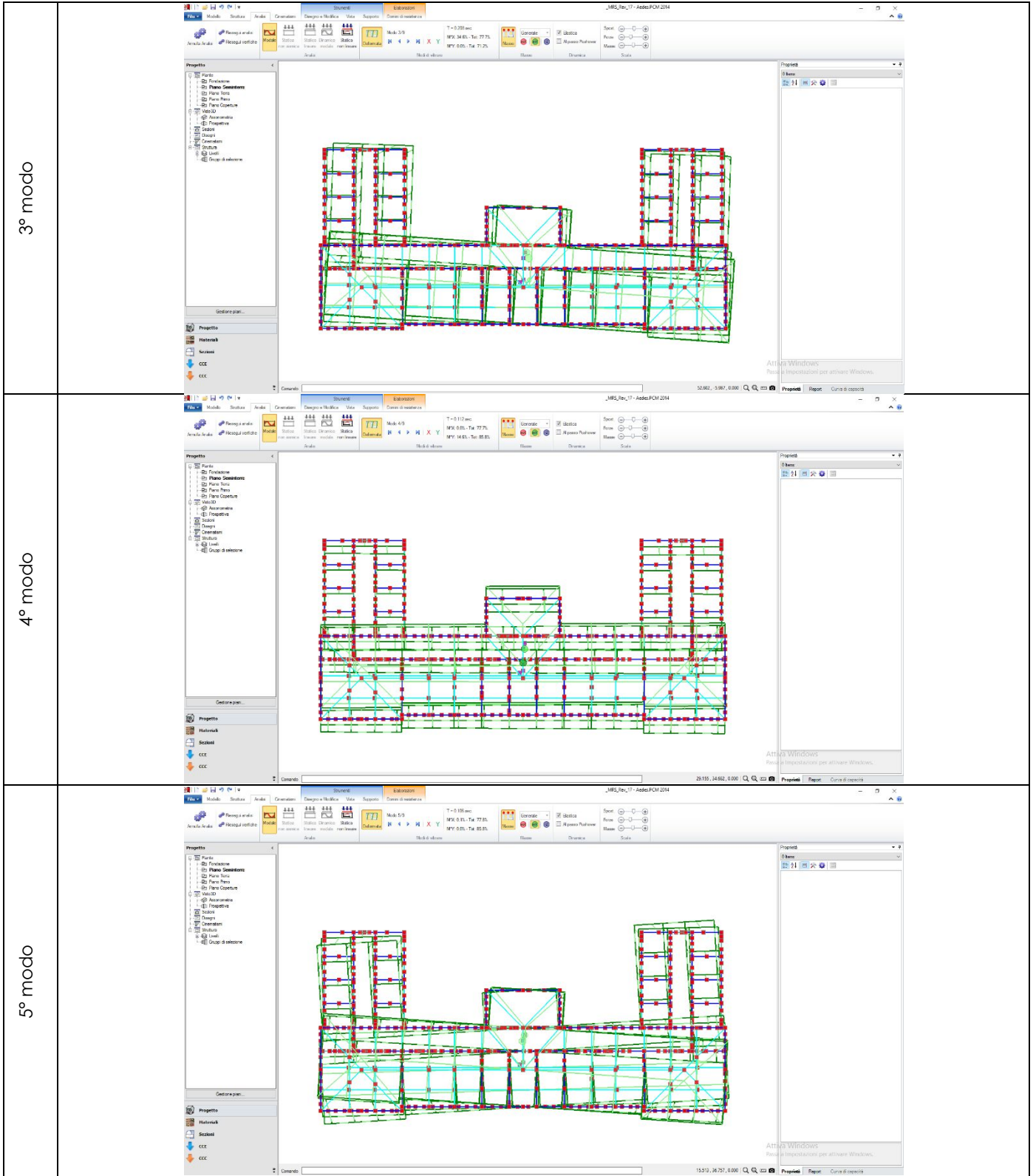
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29

9° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.27255</td><td>62</td><td>0.00</td><td>2,741,295</td><td>63.08</td><td>18</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.22699</td><td>52,684</td><td>1.21</td><td>10,170</td><td>0.23</td><td>1</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.20431</td><td>3,205,254</td><td>73.76</td><td>32</td><td>0.00</td><td>19</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.12822</td><td>1</td><td>0.00</td><td>3,419</td><td>0.08</td><td>6,327</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12819</td><td>23</td><td>0.00</td><td>299</td><td>0.01</td><td>534</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11850</td><td>1</td><td>0.00</td><td>553,309</td><td>12.73</td><td>5</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.11087</td><td>24</td><td>0.00</td><td>245,931</td><td>5.66</td><td>302</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.10647</td><td>10,126</td><td>0.23</td><td>7,074</td><td>0.16</td><td>34</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09206</td><td>114,208</td><td>2.63</td><td>105</td><td>0.00</td><td>56</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.07188</td><td>179,761</td><td>4.14</td><td>58</td><td>0.00</td><td>432</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.07004</td><td>540</td><td>0.01</td><td>485</td><td>0.01</td><td>2,166,483</td><td>49.86</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.06909</td><td>143</td><td>0.00</td><td>20</td><td>0.00</td><td>99,662</td><td>2.29</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00	2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00	3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00	4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15	5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01	6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00	7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01	8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00	9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00	10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01	11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86	12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																			
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00																																																																																																			
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00																																																																																																			
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00																																																																																																			
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15																																																																																																			
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01																																																																																																			
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00																																																																																																			
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01																																																																																																			
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00																																																																																																			
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00																																																																																																			
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01																																																																																																			
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86																																																																																																			
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29																																																																																																			
10° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.27255</td><td>62</td><td>0.00</td><td>2,741,295</td><td>63.08</td><td>18</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.22699</td><td>52,684</td><td>1.21</td><td>10,170</td><td>0.23</td><td>1</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.20431</td><td>3,205,254</td><td>73.76</td><td>32</td><td>0.00</td><td>19</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.12822</td><td>1</td><td>0.00</td><td>3,419</td><td>0.08</td><td>6,327</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12819</td><td>23</td><td>0.00</td><td>299</td><td>0.01</td><td>534</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11850</td><td>1</td><td>0.00</td><td>553,309</td><td>12.73</td><td>5</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.11087</td><td>24</td><td>0.00</td><td>245,931</td><td>5.66</td><td>302</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.10647</td><td>10,126</td><td>0.23</td><td>7,074</td><td>0.16</td><td>34</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09206</td><td>114,208</td><td>2.63</td><td>105</td><td>0.00</td><td>56</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.07188</td><td>179,761</td><td>4.14</td><td>58</td><td>0.00</td><td>432</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.07004</td><td>540</td><td>0.01</td><td>485</td><td>0.01</td><td>2,166,483</td><td>49.86</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.06909</td><td>143</td><td>0.00</td><td>20</td><td>0.00</td><td>99,662</td><td>2.29</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00	2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00	3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00	4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15	5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01	6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00	7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01	8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00	9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00	10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01	11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86	12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																			
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00																																																																																																			
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00																																																																																																			
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00																																																																																																			
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15																																																																																																			
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01																																																																																																			
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00																																																																																																			
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01																																																																																																			
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00																																																																																																			
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00																																																																																																			
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01																																																																																																			
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86																																																																																																			
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29																																																																																																			
1° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.27255</td><td>62</td><td>0.00</td><td>2,741,295</td><td>63.08</td><td>18</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.22699</td><td>52,684</td><td>1.21</td><td>10,170</td><td>0.23</td><td>1</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.20431</td><td>3,205,254</td><td>73.76</td><td>32</td><td>0.00</td><td>19</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.12822</td><td>1</td><td>0.00</td><td>3,419</td><td>0.08</td><td>6,327</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12819</td><td>23</td><td>0.00</td><td>299</td><td>0.01</td><td>534</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11850</td><td>1</td><td>0.00</td><td>553,309</td><td>12.73</td><td>5</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.11087</td><td>24</td><td>0.00</td><td>245,931</td><td>5.66</td><td>302</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.10647</td><td>10,126</td><td>0.23</td><td>7,074</td><td>0.16</td><td>34</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09206</td><td>114,208</td><td>2.63</td><td>105</td><td>0.00</td><td>56</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.07188</td><td>179,761</td><td>4.14</td><td>58</td><td>0.00</td><td>432</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.07004</td><td>540</td><td>0.01</td><td>485</td><td>0.01</td><td>2,166,483</td><td>49.86</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.06909</td><td>143</td><td>0.00</td><td>20</td><td>0.00</td><td>99,662</td><td>2.29</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00	2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00	3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00	4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15	5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01	6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00	7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01	8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00	9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00	10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01	11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86	12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																			
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00																																																																																																			
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00																																																																																																			
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00																																																																																																			
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15																																																																																																			
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01																																																																																																			
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00																																																																																																			
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01																																																																																																			
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00																																																																																																			
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00																																																																																																			
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01																																																																																																			
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86																																																																																																			
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29																																																																																																			
12° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.27255</td><td>62</td><td>0.00</td><td>2,741,295</td><td>63.08</td><td>18</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.22699</td><td>52,684</td><td>1.21</td><td>10,170</td><td>0.23</td><td>1</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.20431</td><td>3,205,254</td><td>73.76</td><td>32</td><td>0.00</td><td>19</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.12822</td><td>1</td><td>0.00</td><td>3,419</td><td>0.08</td><td>6,327</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12819</td><td>23</td><td>0.00</td><td>299</td><td>0.01</td><td>534</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11850</td><td>1</td><td>0.00</td><td>553,309</td><td>12.73</td><td>5</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.11087</td><td>24</td><td>0.00</td><td>245,931</td><td>5.66</td><td>302</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.10647</td><td>10,126</td><td>0.23</td><td>7,074</td><td>0.16</td><td>34</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09206</td><td>114,208</td><td>2.63</td><td>105</td><td>0.00</td><td>56</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.07188</td><td>179,761</td><td>4.14</td><td>58</td><td>0.00</td><td>432</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.07004</td><td>540</td><td>0.01</td><td>485</td><td>0.01</td><td>2,166,483</td><td>49.86</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.06909</td><td>143</td><td>0.00</td><td>20</td><td>0.00</td><td>99,662</td><td>2.29</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00	2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00	3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00	4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15	5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01	6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00	7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01	8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00	9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00	10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01	11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86	12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																			
1	0.27255	62	0.00	2,741,295	63.08	18	0.00																																																																																																			
2	0.22699	52,684	1.21	10,170	0.23	1	0.00																																																																																																			
3	0.20431	3,205,254	73.76	32	0.00	19	0.00																																																																																																			
4	0.12822	1	0.00	3,419	0.08	6,327	0.15																																																																																																			
5	0.12819	23	0.00	299	0.01	534	0.01																																																																																																			
6	0.11850	1	0.00	553,309	12.73	5	0.00																																																																																																			
7	0.11087	24	0.00	245,931	5.66	302	0.01																																																																																																			
8	0.10647	10,126	0.23	7,074	0.16	34	0.00																																																																																																			
9	0.09206	114,208	2.63	105	0.00	56	0.00																																																																																																			
10	0.07188	179,761	4.14	58	0.00	432	0.01																																																																																																			
11	0.07004	540	0.01	485	0.01	2,166,483	49.86																																																																																																			
12	0.06909	143	0.00	20	0.00	99,662	2.29																																																																																																			

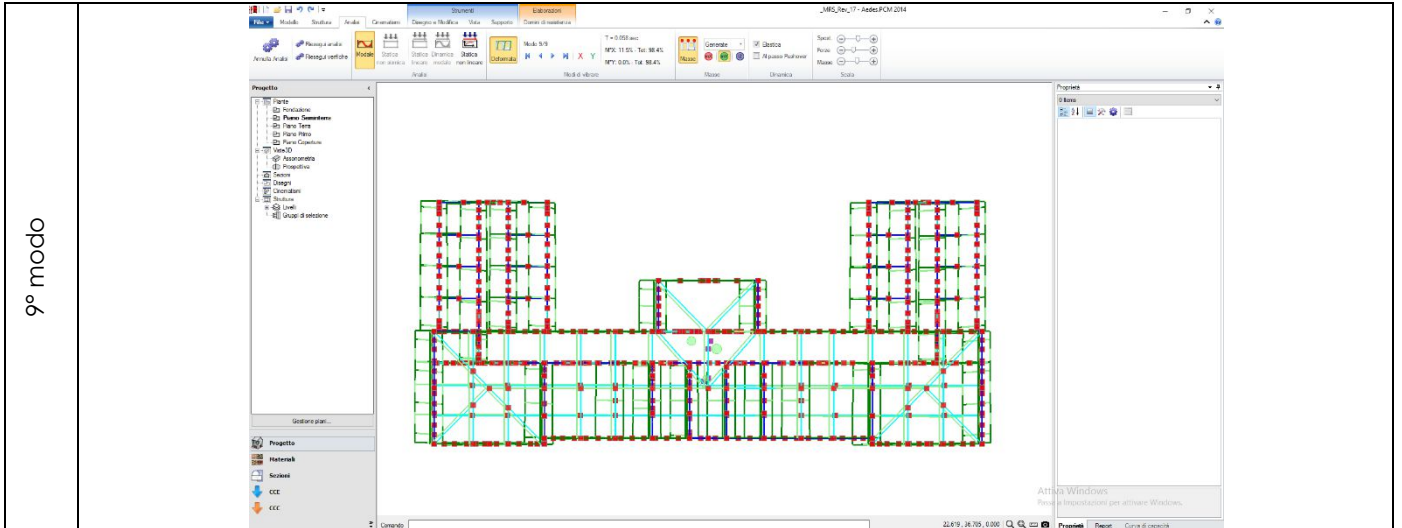
## 2) **Aedes PCM**

Si riporta l'analisi modale eseguita per l'ipotesi che le analisi pushover riportate ed analizzate nel seguito hanno rivelato essere quella che più si avvicina alla modellazione di 3muri per il caso in esame ovvero una modellazione che presenta una modellazione dei maschi murari come vincolati a muoversi nel piano di appartenenza e zone rigide determinate dalla diffusione a 30° della altezze delle aperture limitrofe









**3) Comparazione analisi modale**

Si riportano i valori ottenuti per le analisi svolte ed il loro confronto.

<b>3 muri</b>							
	T	Mx		My		Mz	
Modo	[s]	[daN]	[%]	[daN]	[%]	[daN]	[%]
1	0.27526			2741295.00	63.08		
2	0.22699	52684.00	1.21				
3	0.20431	3205254.00	73.76				
6	0.11850			533309.00	12.73		
7	0.11087			245931.00	5.66		
9	0.09206	114208.00	2.63				
10	0.07188	179761.00	4.14			136181.00	3.10
11	0.07004					2166483.00	49.86
12	0.07280					99662.00	2.29
			81.74		81.47		55.25

<b>Aedes, nodi vincolati nel piano, zone rigide a 30°</b>			
	T	Mx	My
Modo	[s]	[%]	[%]
1	0.250		71.20
2	0.231	43.10	
3	0.208	34.60	
4	0.112		14.60
5	0.106	0.10	
6	0.084	9.00	
7	0.063		12.60
8	0.059	0.10	0.10
9	0.058	11.50	
		98.40	98.50

Differenze- MODI

	T- 3muri	T- Aedes	Δ T	Δ T %
--	----------	----------	-----	-------

Modo	[s]	[s]	[s]	[%]
1	0.27526	0.25000	0.03	9.18
2	0.22699	0.23100	0.00	-1.77
3	0.20431	0.20800	0.00	-1.81
6	0.11850	0.11200	0.01	5.49
7	0.11087	0.10600	0.00	4.39
9	0.09206	0.08400	0.01	8.76
10	0.07188	0.06300	0.01	12.35
11	0.07004	0.05900	0.01	15.76
12	0.07280	0.05800	0.01	20.33

Differenze- MASSE  
PARTECIPANTI

Modo	M- 3muri		M- Aedes		Δ M	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.00	63.08	0.00	71.20	0.00	-8.12
2	1.21	0.00	43.10	0.00	-41.89	0.00
3	73.76	0.00	34.60	0.00	39.16	0.00
6	0.00	12.73	0.00	14.60	0.00	-1.87
7	0.00	5.66	0.10	0.00	-0.10	5.66
9	2.63	0.00	9.00	0.00	-6.37	0.00
10	4.14	0.00	0.00	12.60	4.14	-12.60
11	0.00	0.00	0.10	0.10	-0.10	-0.10
12	0.00	0.00	11.50	0.00	-11.50	0.00

Il confronto avviene tra il modello di 3muri e quello di Aedes relativo all'ipotesi con nodi di parete vincolati nel piano e zone rigide determinate dalla diffusione a 30° dell'altezza delle aperture adiacenti ai maschi di riferimento.

Il dato principale fornito dall'analisi modale evidenzia che i modi individuati da entrambi i programmi non hanno differenze superiori al 10%, per quanto invece riguarda le masse partecipanti non vi è il medesimo accordo nei risultati.

Per un sisma entrante in direzione y oltre al già evidenziato accordo sul modo si ottiene anche la medesima forma dello stesso con componente prevalentemente traslazionale ed una differenza sulla massa partecipante al modo del 10%; in direzione x, invece, 3muri fornisce un modo 3 a componente rotazionale con massa di poco superiore all'1% ed un modo 3 prevalentemente traslazionale con massa partecipante di circa il 70% mentre in Aedes si trova un modo 2 ed un modo 3 entrambi rotazionali con massa pari al 43 ed al 35% , tale dato influenza anche il fattore di partecipazione al moto in direzione x calcolato nelle analisi pushover come verrà discusso nel relativo paragrafo.

### 6.3.3 Analisi pushover

Si analizzano le modellazioni effettuando l'analisi statica non lineare con le seguenti combinazioni:

- 1) Distribuzione proporzionale alle forze statiche
- 2) Distribuzione uniforme di forze da intendersi come derivata di una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione

Tali distribuzioni vengono indicate dalla Circolare esplicativa delle NTC2008 al Punto C8.7.1.4 ed è possibile applicarle indipendentemente dalla massa partecipante.

Le direzioni di entrata del sisma sono: +X, -X, +Y, -Y, dalla combinazione di distribuzioni e delle direzioni si ottengono otto casi.

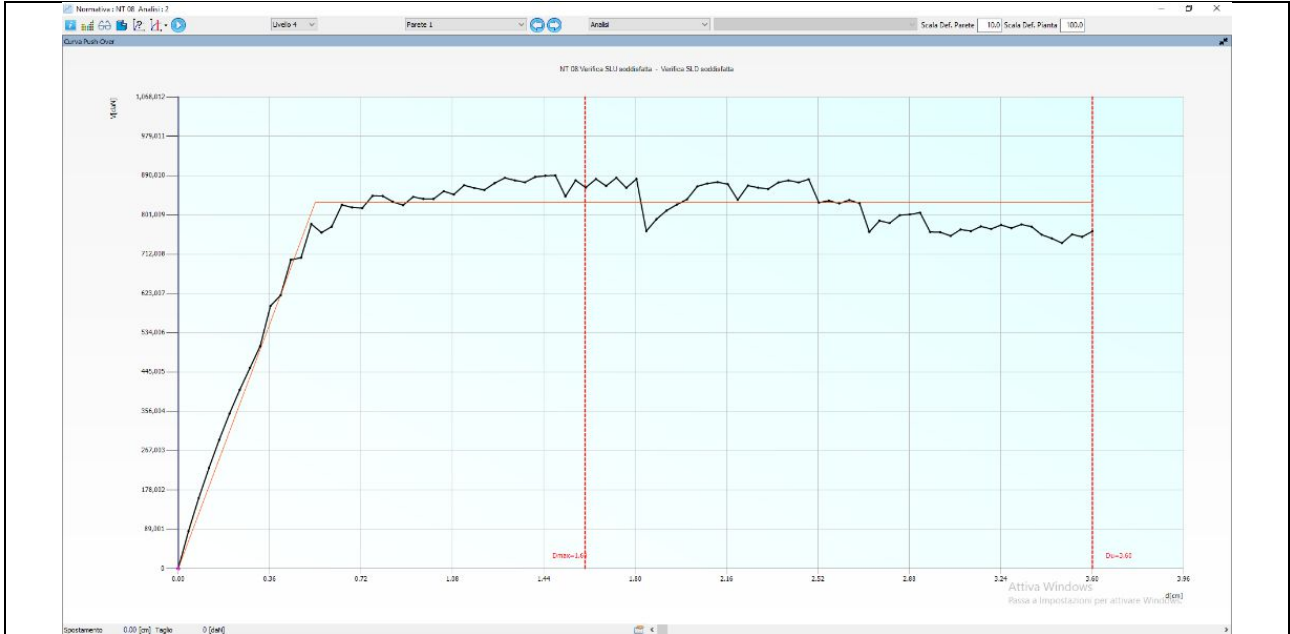
Già nelle prime fasi è possibile notare la crisi delle fasce murarie che vengono trasformate in bielle in coerenza col Punto C8.7.1.4 della Circolare.

Oltre al modello in 3muri sono state svolte quattro diverse modellazioni, si veda il Punto 6.1 a tal proposito, in Aedes per verificare quale fosse tra le proposte quella maggiormente aderente al modello proposto dall'altro software, poiché si è dimostrato che l'ipotesi che prevede nodi vincolati nel piano e zone rigide con diffusione a 30° si riporta nel seguito i grafici ottenuti per la data analisi; nella successiva fase di comparazione si possono inoltre, vedere i risultati ottenuti per le altre analisi.

**1) Distribuzione proporzionale alle forze statiche**  
**a. Analisi pushover in direzione +x**

Nel seguito si riporta la sequenza di danneggiamento della struttura per sisma in direzione +x.

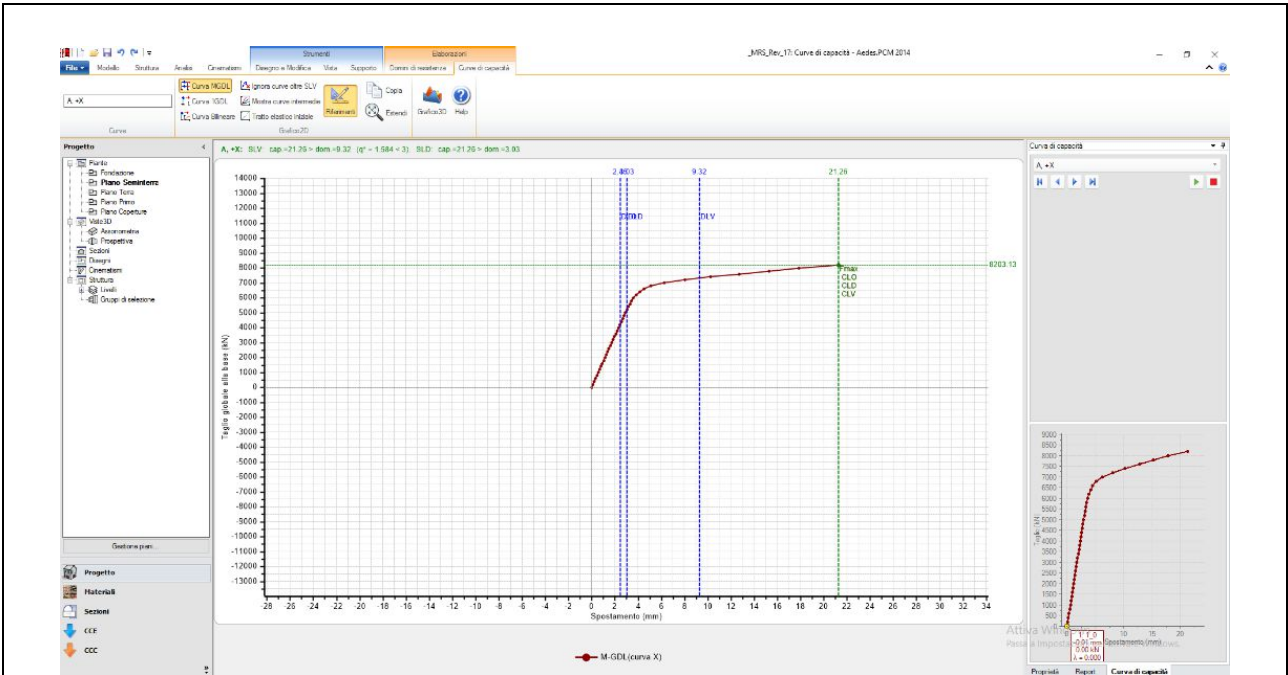
**i. 3muri**



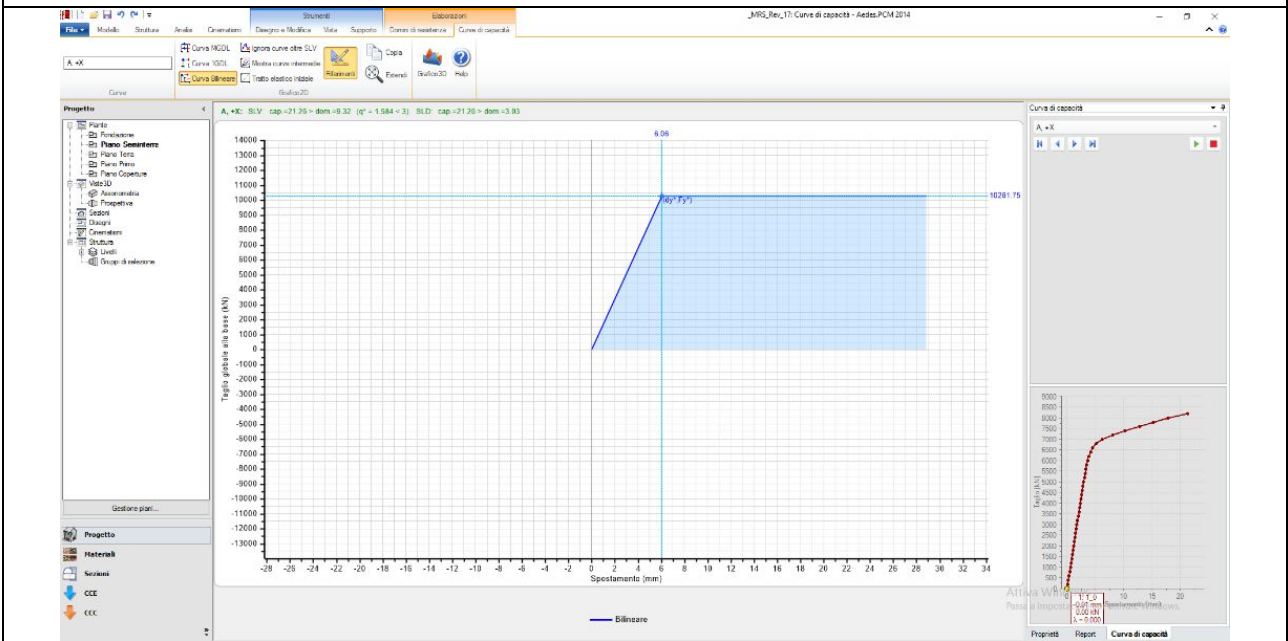
Passo	Spostamento [cm]	Taglio [daN]
1	0.00	0
2	0.04	84,560
3	0.08	159,649
4	0.12	227,913
5	0.16	291,598
6	0.20	350,916
7	0.24	404,645
8	0.28	454,432
9	0.32	503,706
10	0.36	594,615
11	0.40	618,800
12	0.44	699,126
13	0.48	703,826
14	0.52	780,142
15	0.56	760,677
16	0.60	774,239
17	0.64	823,482
18	0.69	817,702
19	0.73	816,253
20	0.77	843,808
21	0.81	843,625
22	0.85	830,590
23	0.89	822,798
24	0.93	841,594
25	0.97	837,009
26	1.01	836,853
27	1.05	854,380
28	1.09	846,979
29	1.13	867,908
30	1.17	861,839
31	1.21	857,201
32	1.25	872,589
33	1.29	884,560
34	1.33	879,066
35	1.37	874,620
36	1.41	886,708
37	1.45	899,418
38	1.49	890,010
39	1.53	842,783
40	1.57	879,109
41	1.61	862,667
42	1.65	882,059
43	1.69	866,374
44	1.73	884,881
45	1.77	862,055
46	1.81	882,355
47	1.84	764,019
48	1.88	791,152
49	1.92	810,707
50	1.96	824,163
51	2.00	836,119
52	2.05	865,240
53	2.08	871,981
54	2.13	874,983
55	2.17	870,456
56	2.20	834,822
57	2.24	867,258
58	2.28	862,411
59	2.32	859,472
60	2.36	874,347
61	2.40	878,817
62	2.44	874,398
63	2.48	881,490
64	2.52	828,771
65	2.56	832,872
66	2.60	826,984
67	2.64	834,213
68	2.68	827,257
69	2.72	762,154
70	2.76	787,655
71	2.80	782,241
72	2.84	800,215
73	2.88	801,773
74	2.92	805,814
75	2.96	762,003
76	3.00	761,484
77	3.04	753,248
78	3.08	767,765
79	3.12	764,001
80	3.16	774,774
81	3.20	768,994
82	3.24	777,994
83	3.28	770,865
84	3.32	779,177
85	3.36	774,135
86	3.40	755,892
87	3.44	747,624
88	3.48	736,988
89	3.52	756,574
90	3.56	751,101
91	3.60	763,661

ii. **Aedes**

Si è scelto di riportare i valori ottenuti per l'ipotesi di nodi vincolati a muoversi nel proprio piano di appartenenza ed una definizione delle zone rigide a determinate dalla diffusione a 30° della altezze della aperture limitrofe in quanto si è ritenuto essere quella che più si avvicina alla modellazione ottenuta tramite 3muri in termini di rigidità della bilineare che schematizza la curva di pushover.

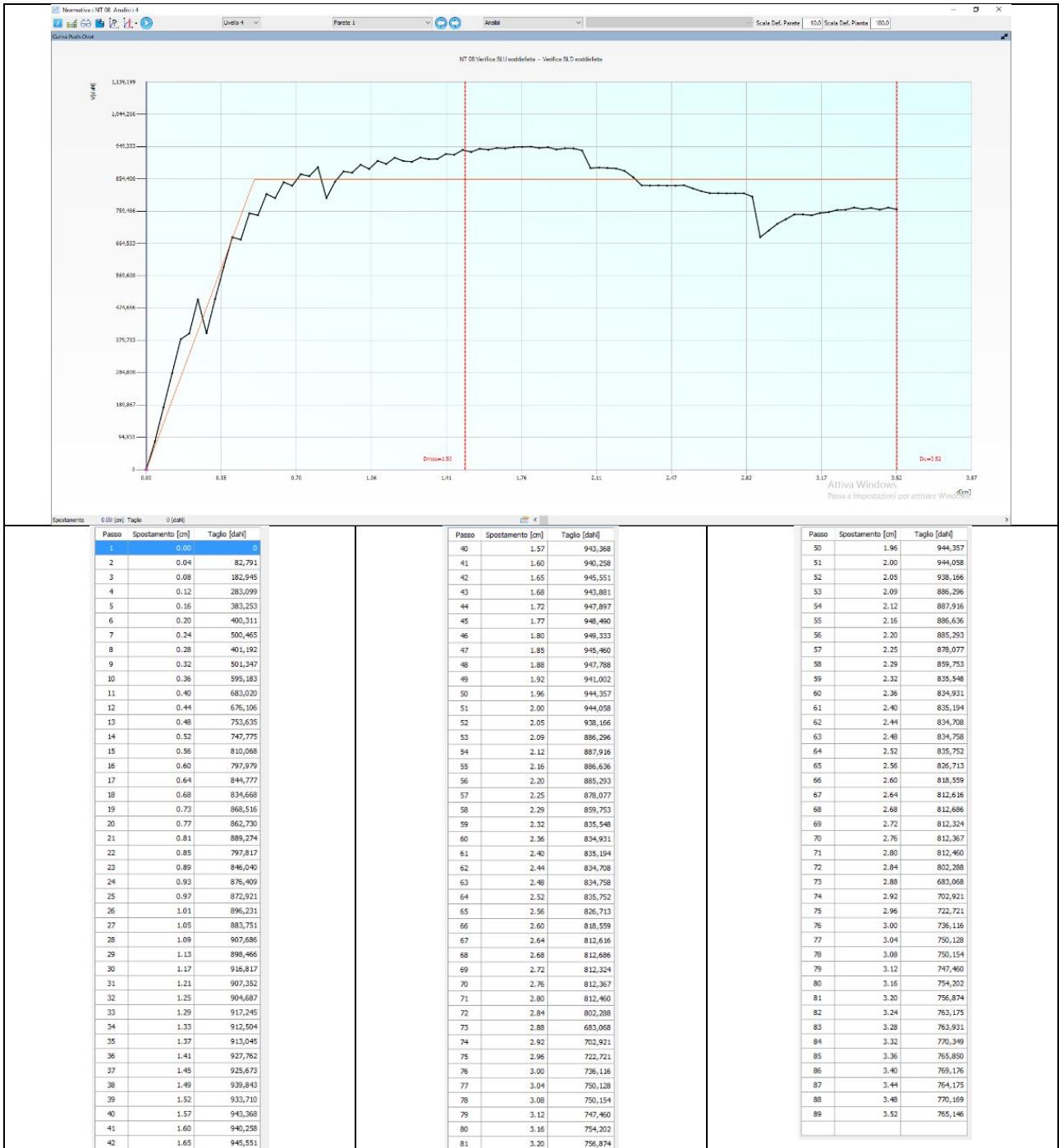


Aedes 2-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

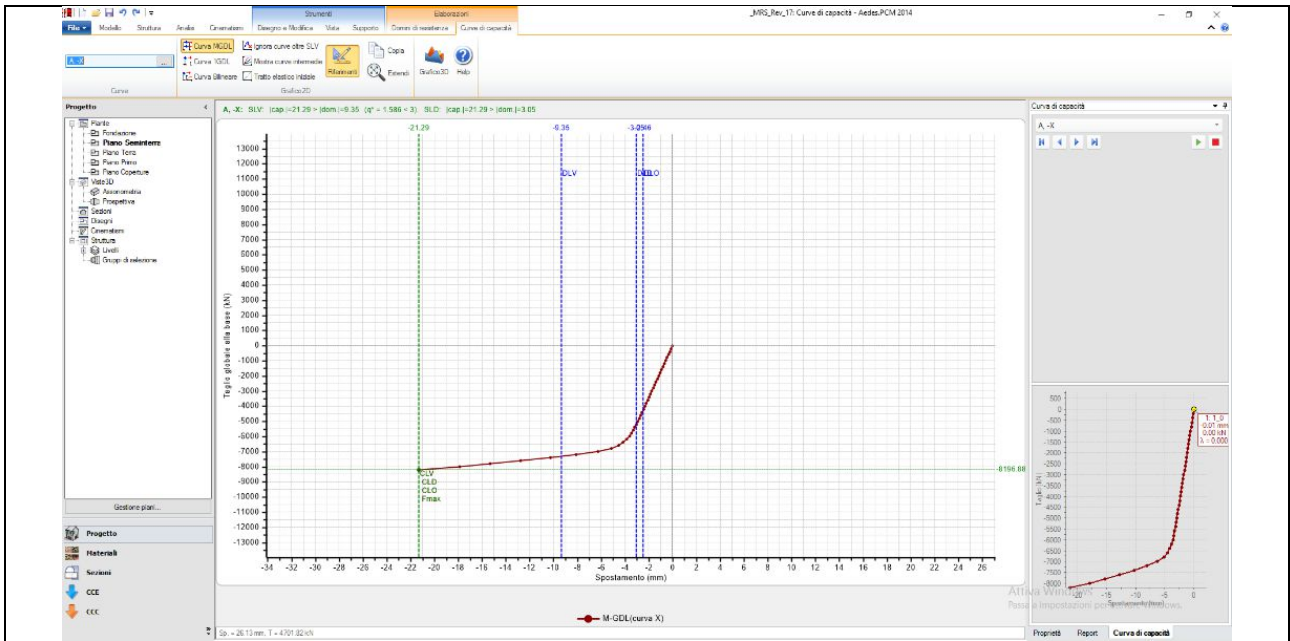


Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

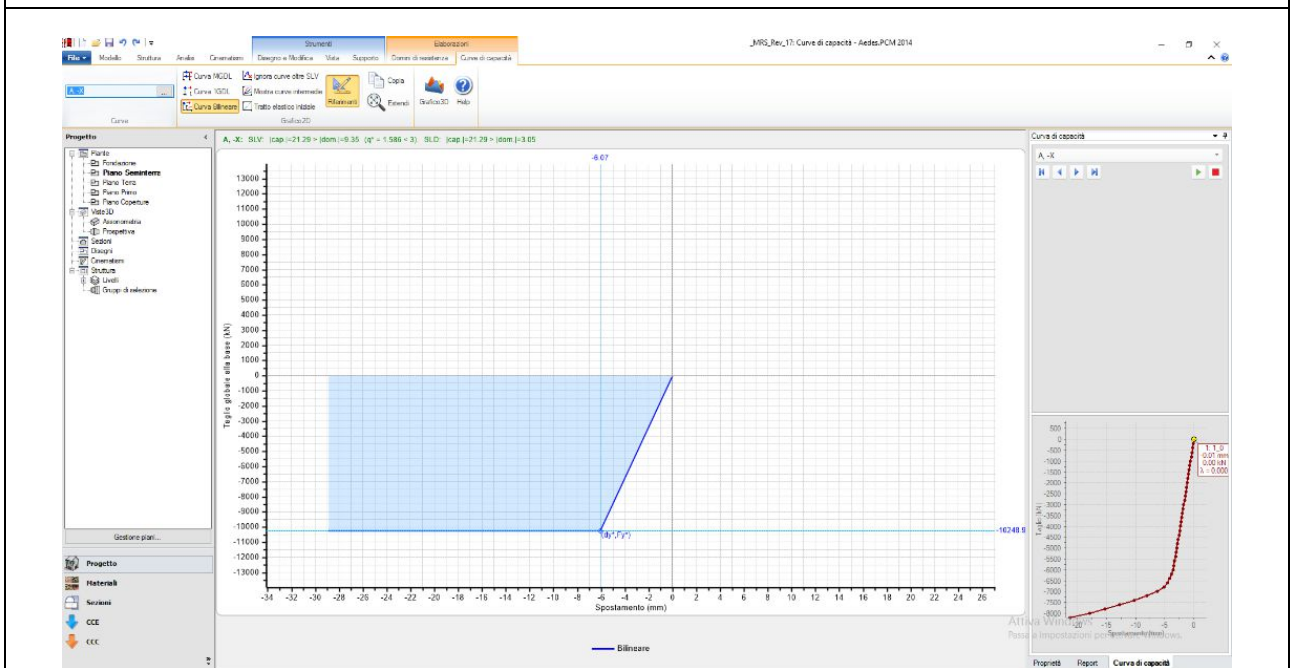
**b. Analisi pushover in direzione -x**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

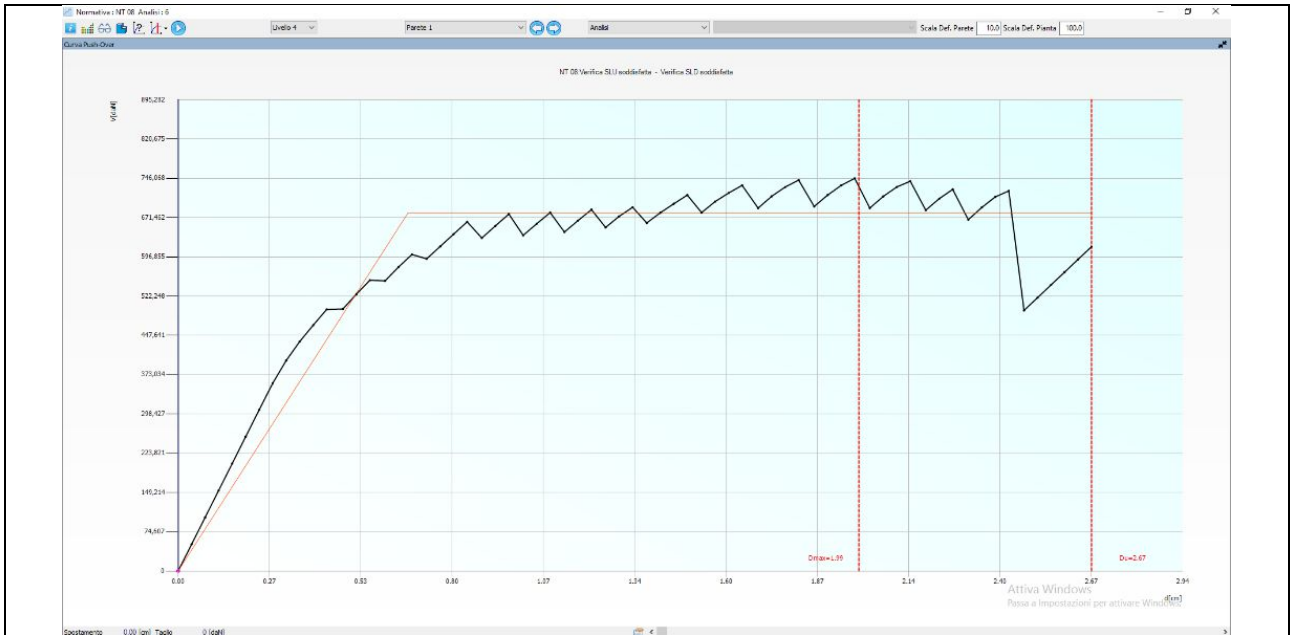


Aedes 2-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.



Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

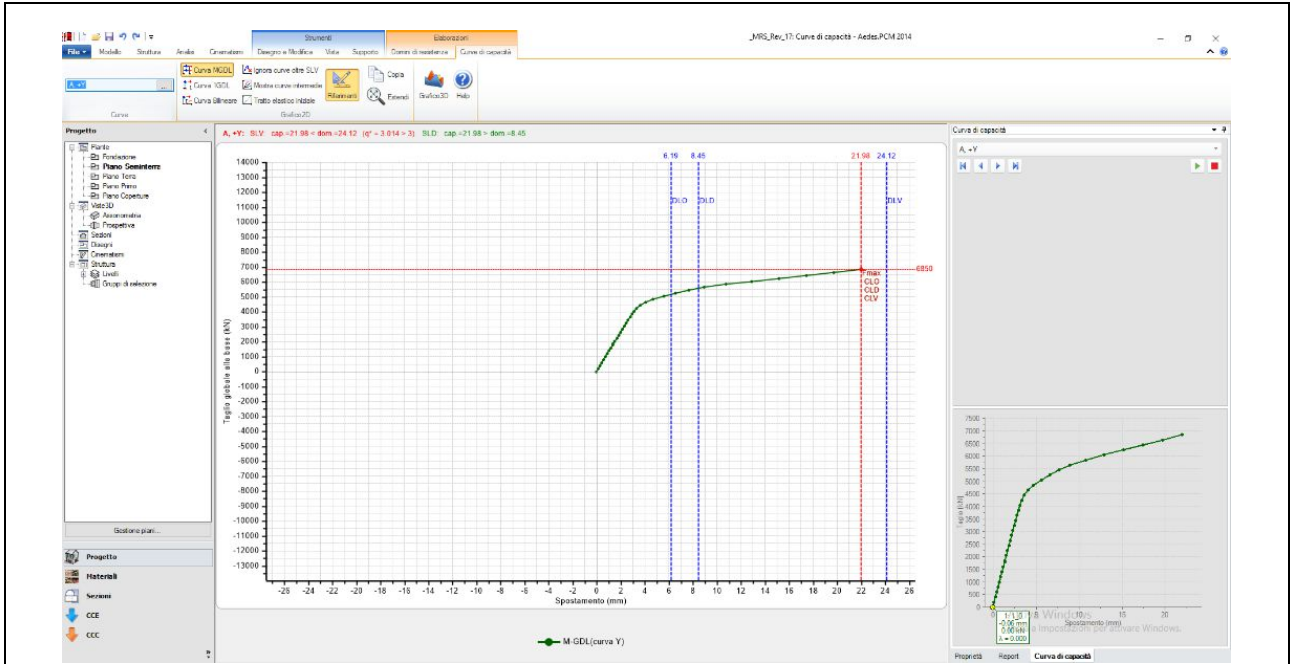
**c. Analisi pushover in direzione +y**  
**i. 3muri**



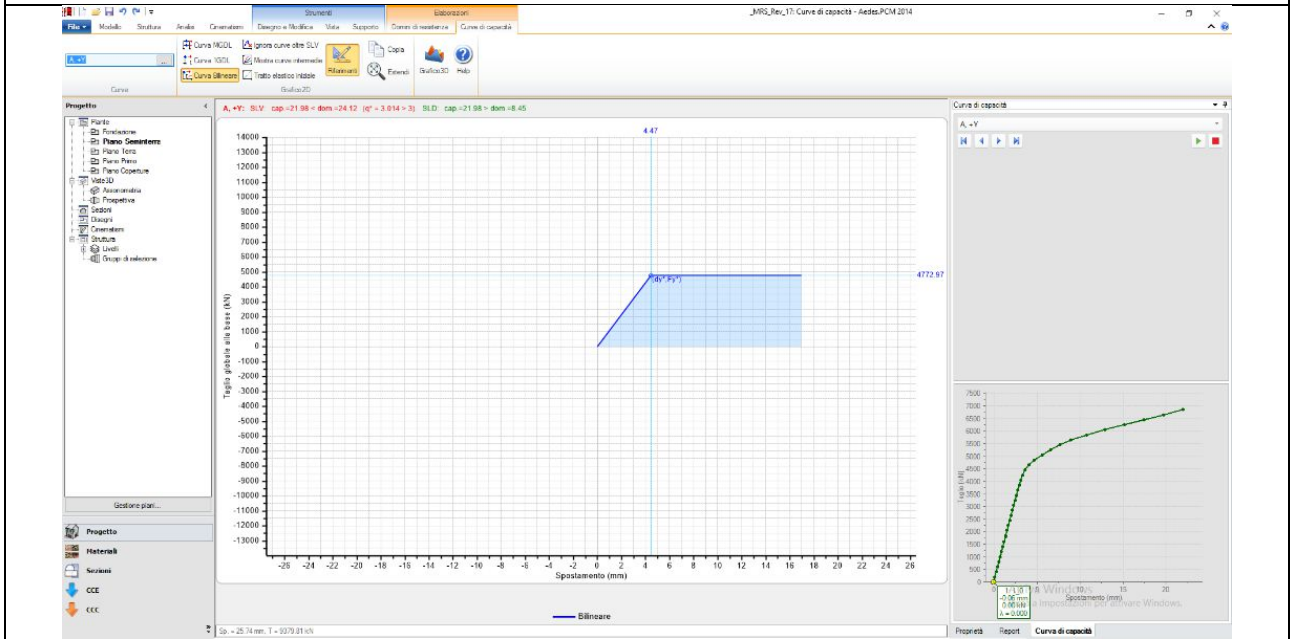
Passo	Spostamento [cm]	Taglio [daN]
1	0.00	0
2	0.04	51,036
3	0.08	102,072
4	0.12	153,108
5	0.16	204,144
6	0.20	255,179
7	0.24	306,215
8	0.28	356,719
9	0.32	399,928
10	0.36	435,979
11	0.39	467,015
12	0.43	497,034
13	0.48	495,004
14	0.52	526,009
15	0.56	552,600
16	0.61	551,265
17	0.64	577,643
18	0.68	601,443
19	0.73	593,146
20	0.77	616,608
21	0.81	640,167
22	0.85	663,451
23	0.89	632,729
24	0.93	655,623
25	0.97	678,208
26	1.01	637,826
27	1.05	659,760
28	1.09	680,992
29	1.13	644,059
30	1.17	665,787
31	1.21	686,555
32	1.25	652,877
33	1.29	673,863
34	1.33	691,142
35	1.37	661,330
36	1.41	680,736
37	1.45	697,763
38	1.49	714,275
39	1.53	681,053
40	1.57	701,918
41	1.61	718,237
42	1.65	732,737

Passo	Spostamento [cm]	Taglio [daN]
28	1.09	680,992
29	1.13	644,059
30	1.17	665,787
31	1.21	686,555
32	1.25	652,877
33	1.29	673,863
34	1.33	691,142
35	1.37	661,330
36	1.41	680,736
37	1.45	697,763
38	1.49	714,275
39	1.53	681,053
40	1.57	701,918
41	1.61	718,237
42	1.65	732,737
43	1.70	689,569
44	1.74	711,957
45	1.78	729,504
46	1.82	742,763
47	1.86	692,653
48	1.90	714,345
49	1.94	732,729
50	1.98	746,068
51	2.02	689,663
52	2.06	711,825
53	2.10	729,699
54	2.14	740,631
55	2.19	685,550
56	2.23	707,495
57	2.27	725,116
58	2.31	667,548
59	2.35	690,776
60	2.39	710,929
61	2.43	722,182
62	2.47	495,208
63	2.51	519,385
64	2.55	543,567
65	2.59	567,749
66	2.63	592,090
67	2.67	616,280

ii. **Aedes**

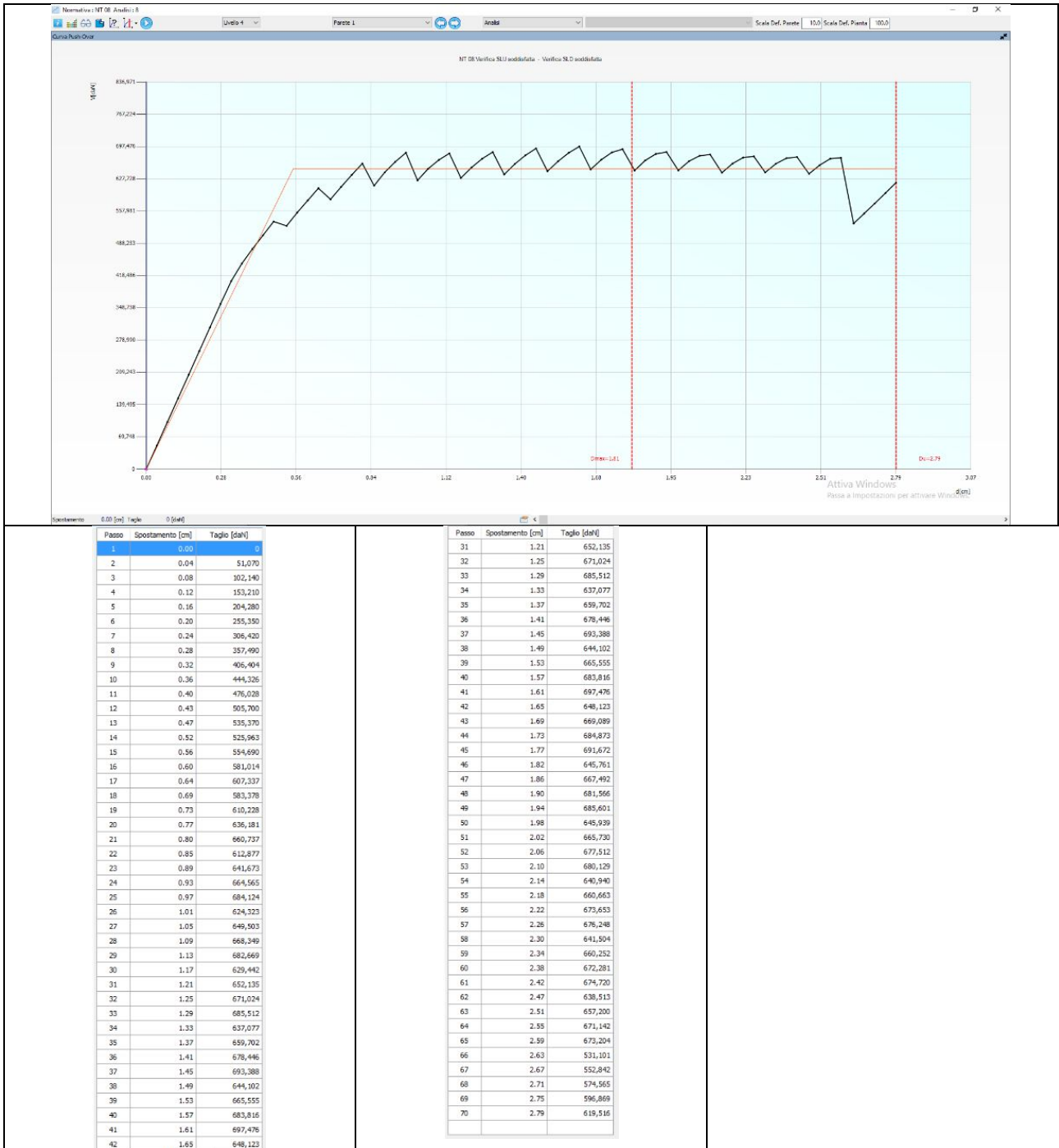


Aedes 2-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

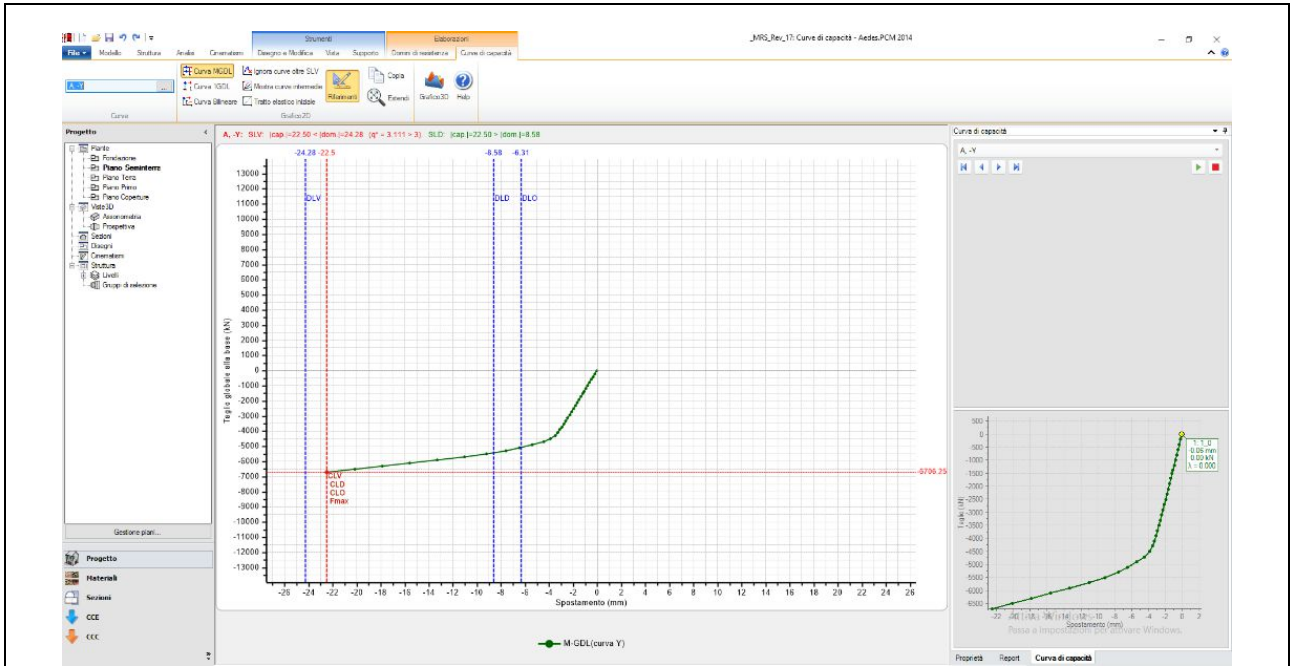


Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

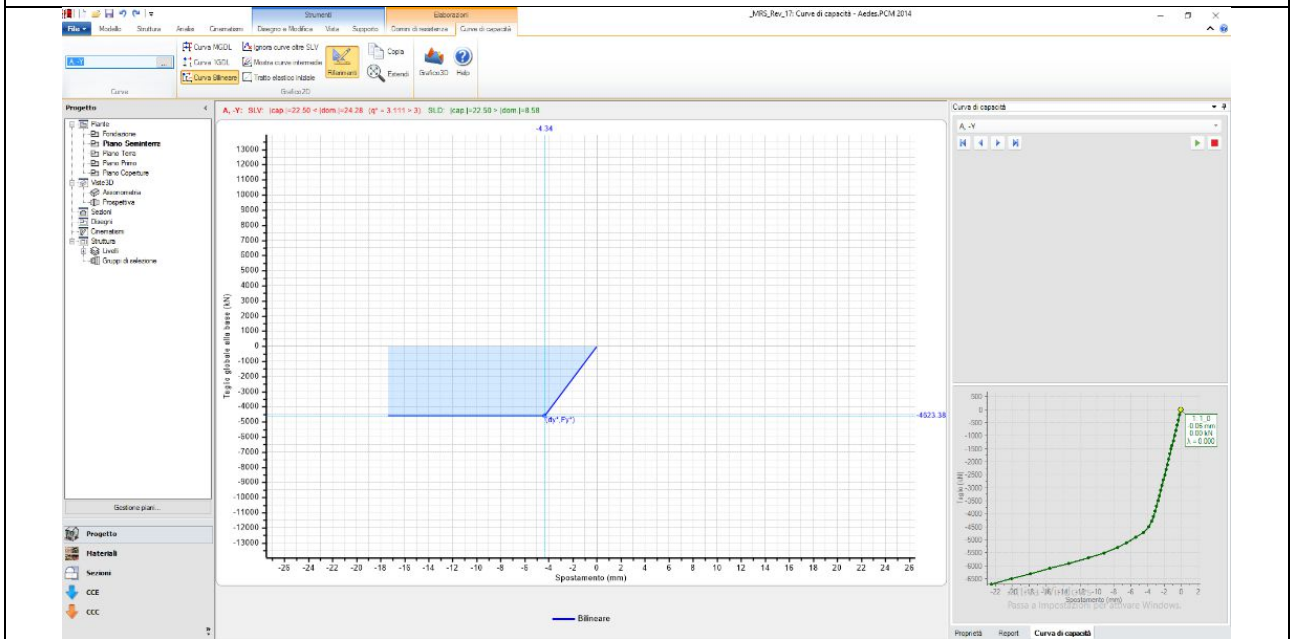
**d. Analisi pushover in direzione -y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**



Aedes 2-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

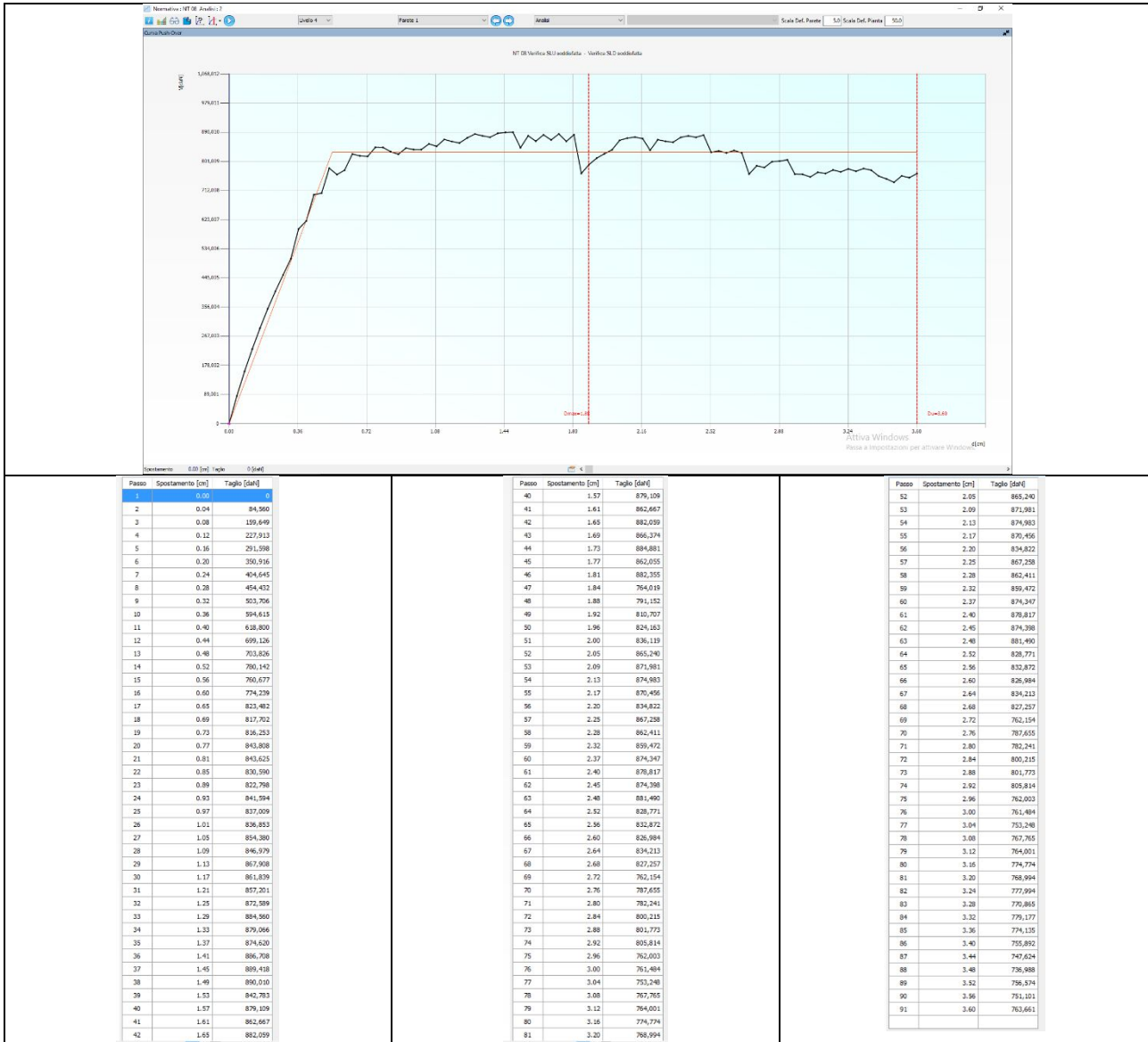


Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

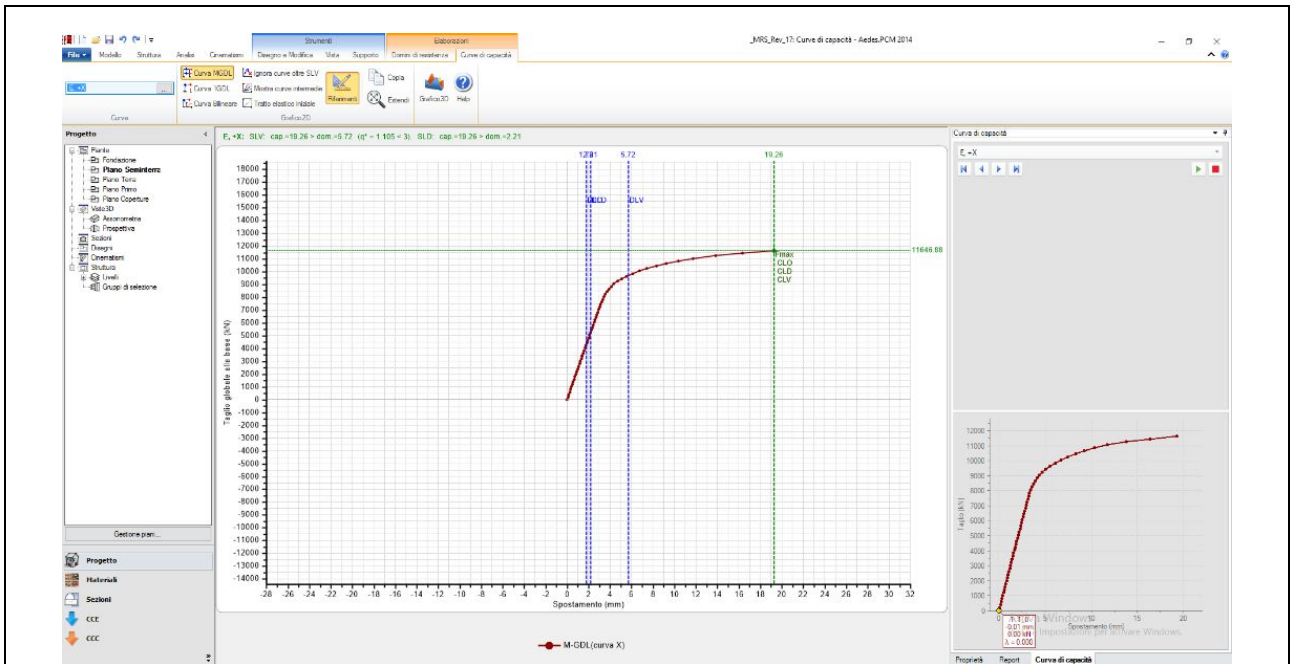
2) **Distribuzione uniforme di forze**

a. **Analisi pushover in direzione +x**

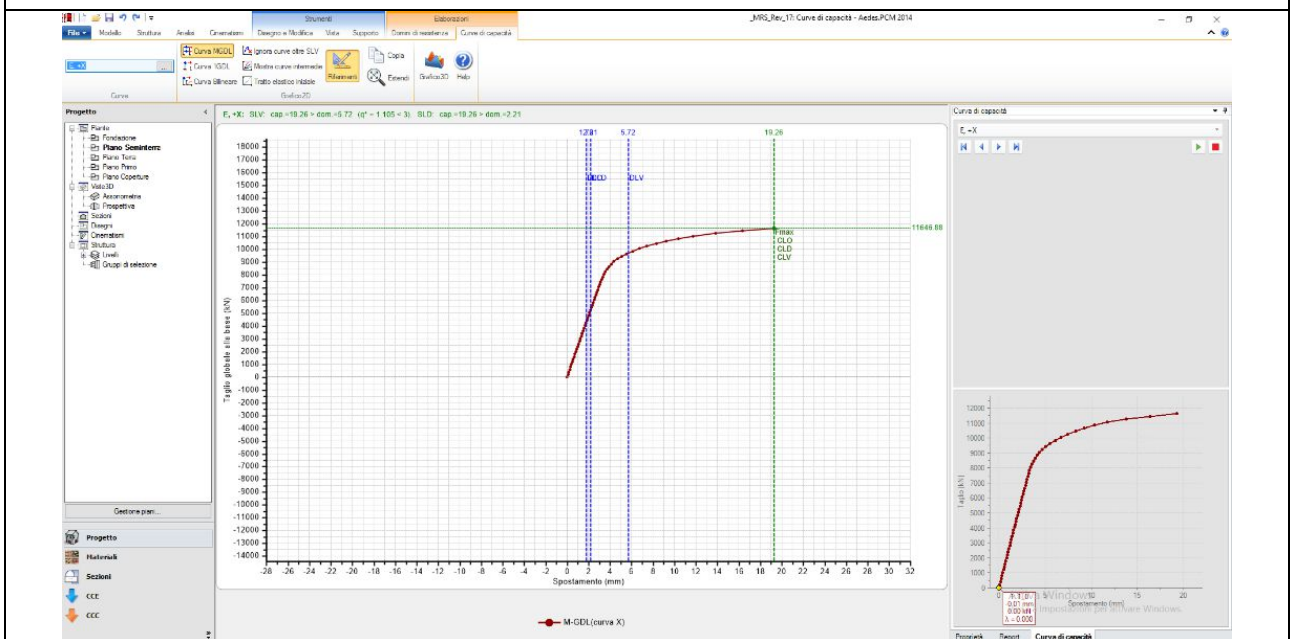
i. **3muri**



ii. **Aedes**

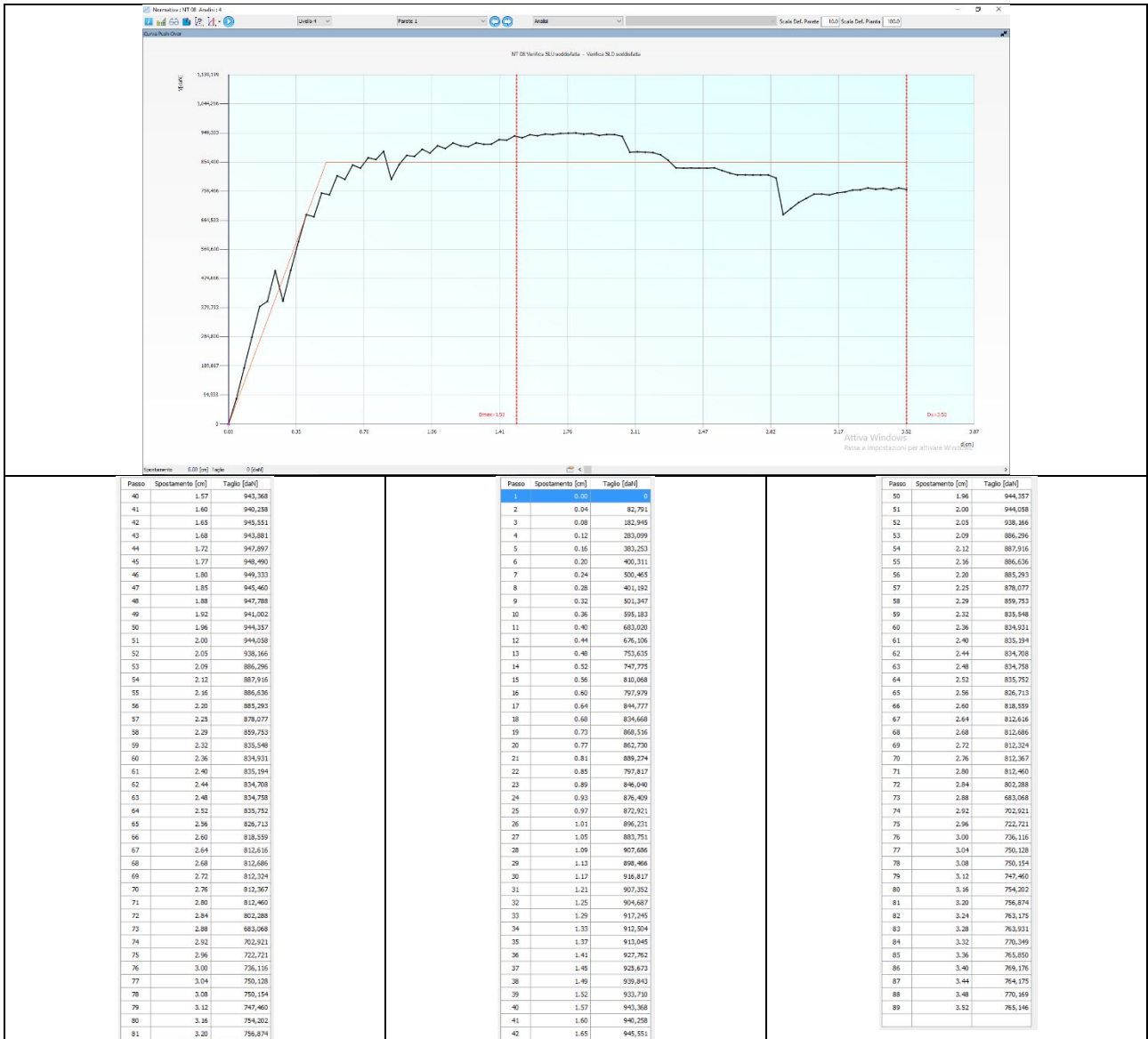


Aedes 2-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

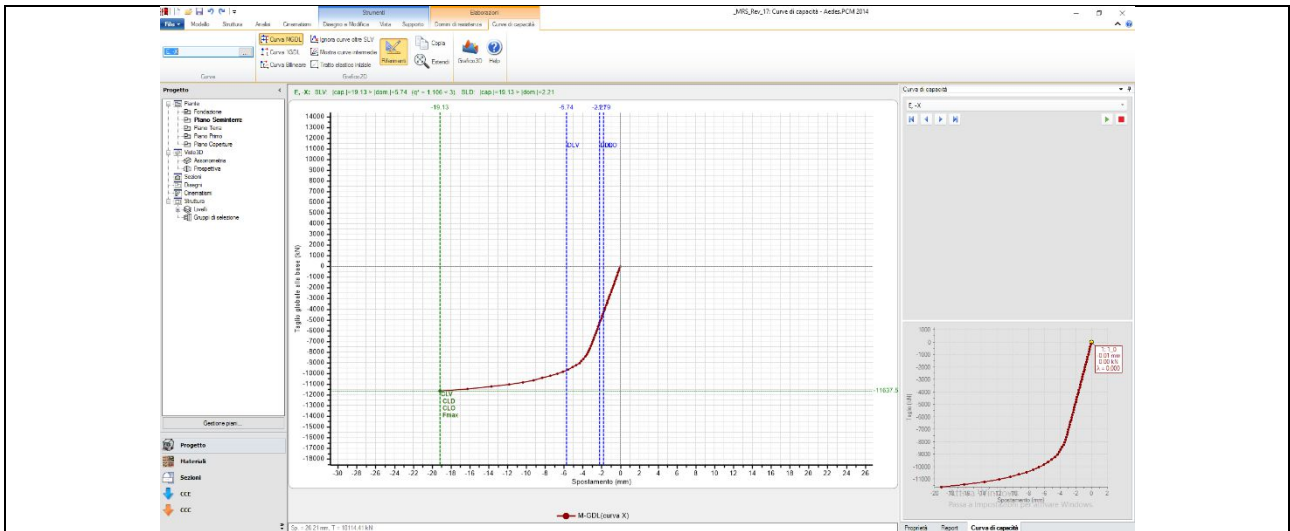


Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

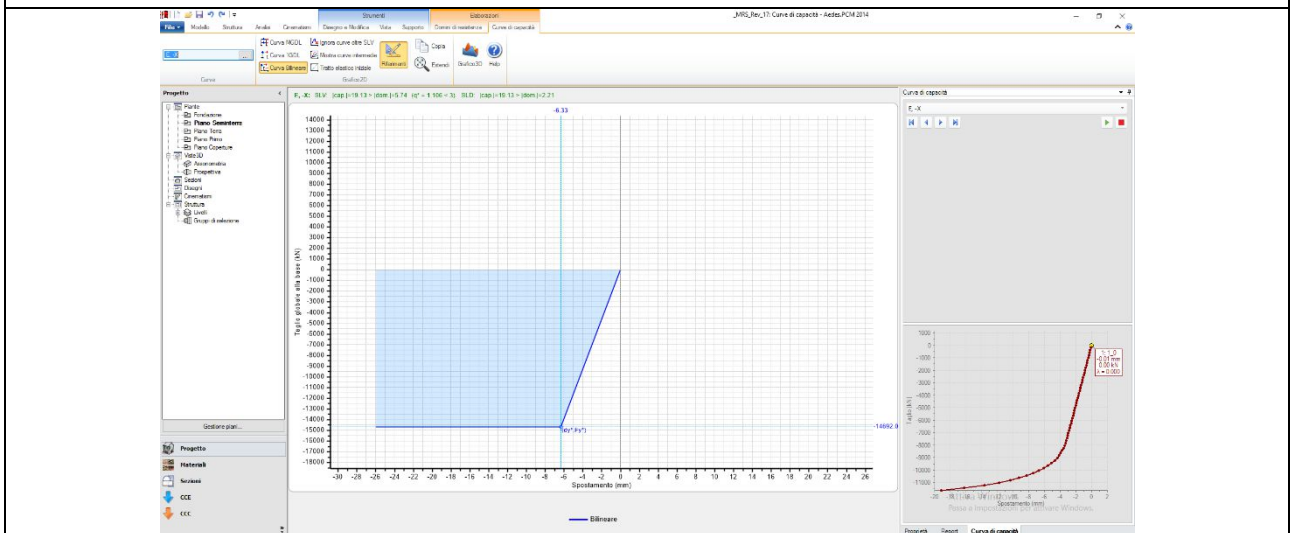
**b. Analisi pushover in direzione -x**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

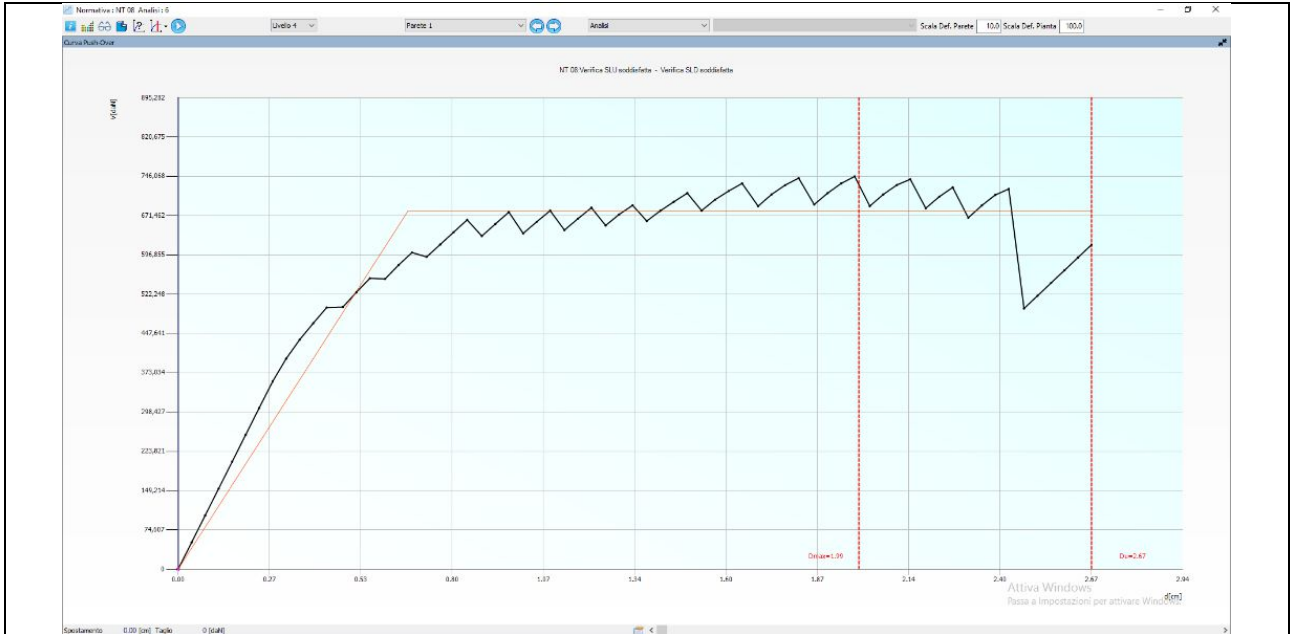


Aedes 2-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.



Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

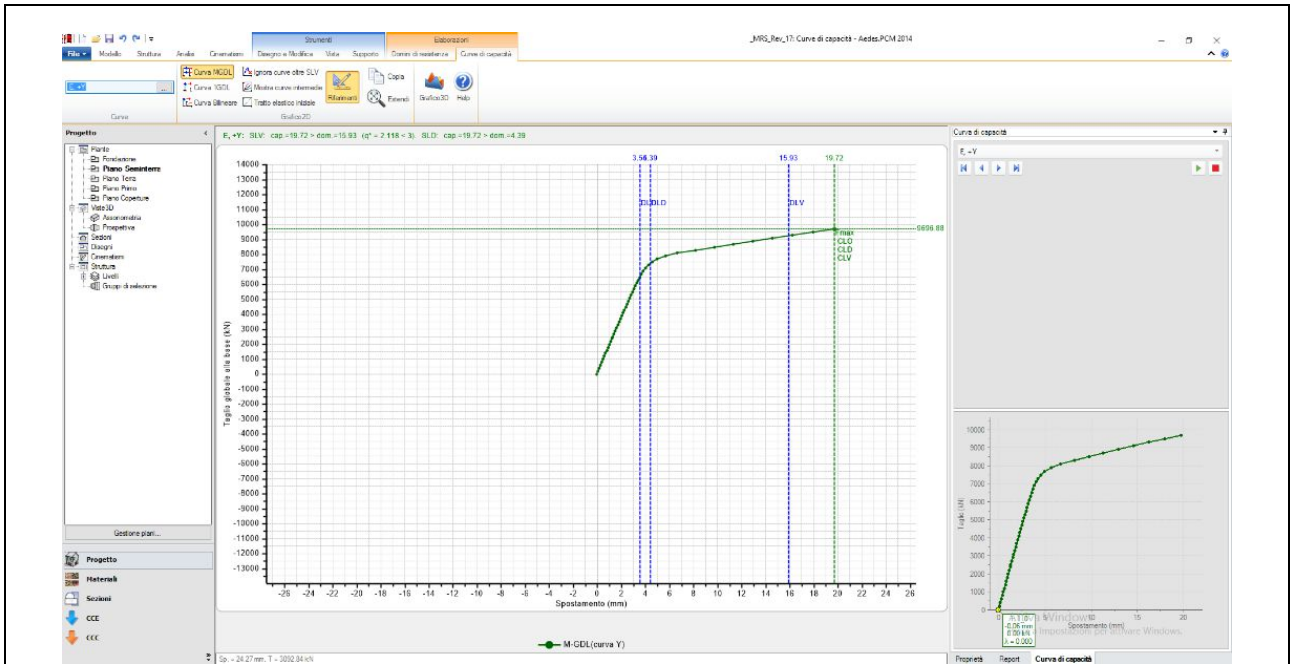
**c. Analisi pushover in direzione +y**  
**i. 3muri**



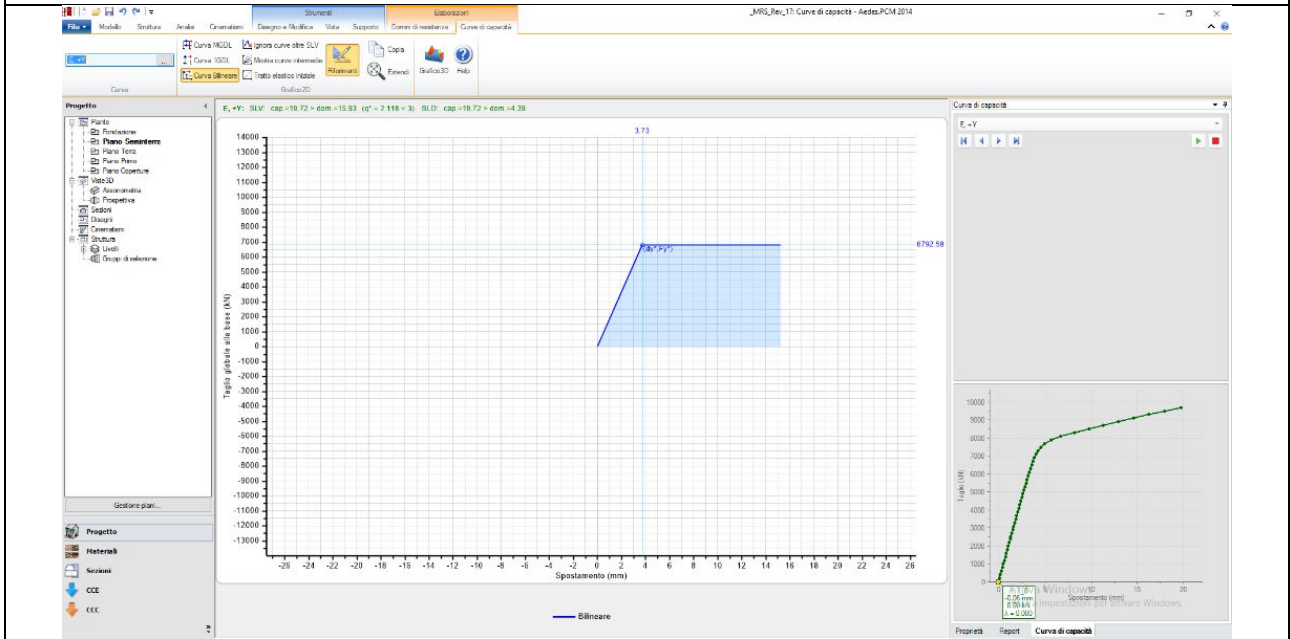
Passo	Spostamento [cm]	Taglio [daN]
1	0.00	0
2	0.04	51,036
3	0.08	102,072
4	0.12	153,108
5	0.16	204,144
6	0.20	255,179
7	0.24	306,215
8	0.28	356,719
9	0.32	399,928
10	0.36	435,979
11	0.39	467,015
12	0.43	497,034
13	0.48	498,004
14	0.52	526,009
15	0.56	552,600
16	0.61	551,265
17	0.64	577,643
18	0.68	601,443
19	0.73	593,146
20	0.77	616,608
21	0.81	640,167
22	0.85	663,451
23	0.89	632,729
24	0.93	655,623
25	0.97	678,208
26	1.01	637,826
27	1.05	659,760
28	1.09	680,992
29	1.13	644,059
30	1.17	665,787
31	1.21	686,555
32	1.25	652,877
33	1.29	673,863
34	1.33	691,142
35	1.37	661,330
36	1.41	680,736
37	1.45	697,763
38	1.49	714,275
39	1.53	681,053
40	1.57	701,918
41	1.61	718,237
42	1.65	732,737

Passo	Spostamento [cm]	Taglio [daN]
28	1.09	680,992
29	1.13	644,059
30	1.17	665,787
31	1.21	686,555
32	1.25	652,877
33	1.29	673,863
34	1.33	691,142
35	1.37	661,330
36	1.41	680,736
37	1.45	697,763
38	1.49	714,275
39	1.53	681,053
40	1.57	701,918
41	1.61	718,237
42	1.65	732,737
43	1.70	689,569
44	1.74	711,957
45	1.78	729,504
46	1.82	742,763
47	1.86	692,653
48	1.90	714,345
49	1.94	732,729
50	1.98	746,068
51	2.02	689,663
52	2.06	711,825
53	2.10	729,699
54	2.14	740,631
55	2.19	685,550
56	2.23	707,495
57	2.27	725,116
58	2.31	667,548
59	2.35	690,776
60	2.39	710,929
61	2.43	722,182
62	2.47	495,208
63	2.51	519,385
64	2.55	543,567
65	2.59	567,749
66	2.63	592,090
67	2.67	616,280

**i. Aedes**

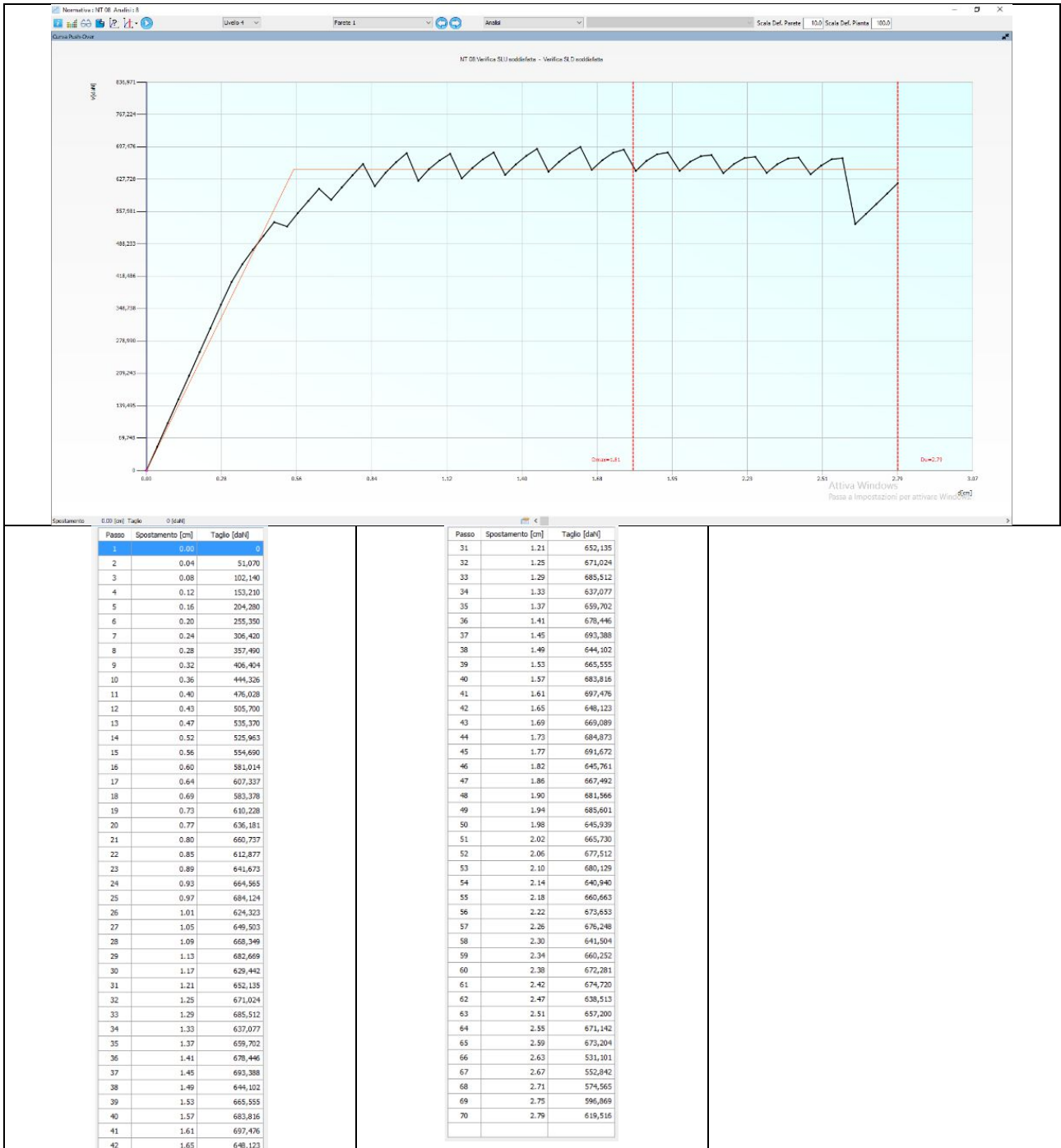


Aedes 2-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

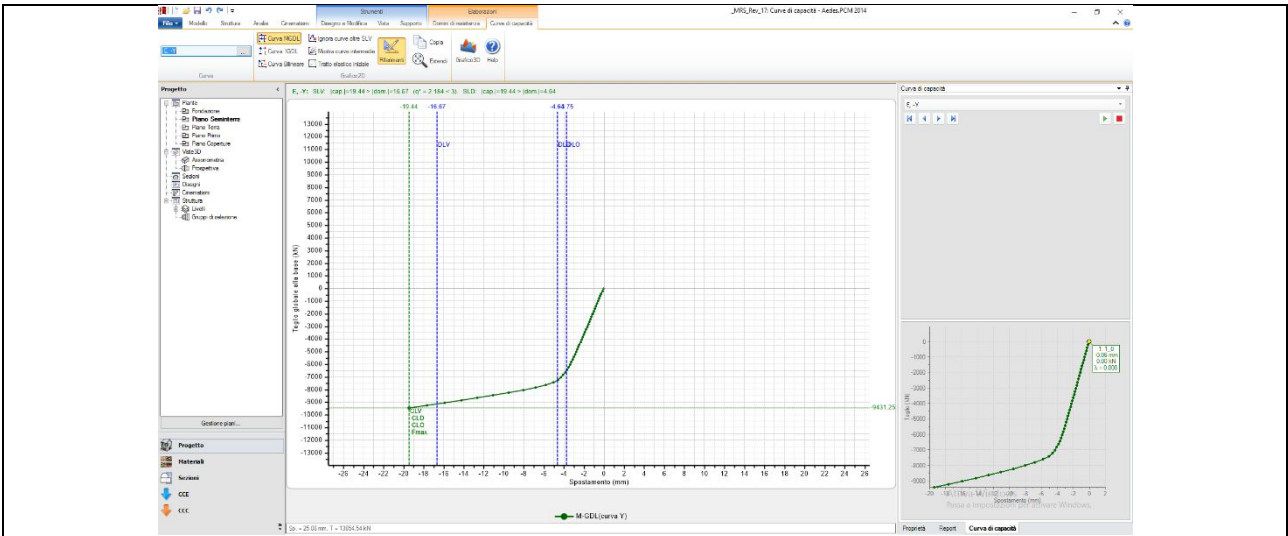


Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

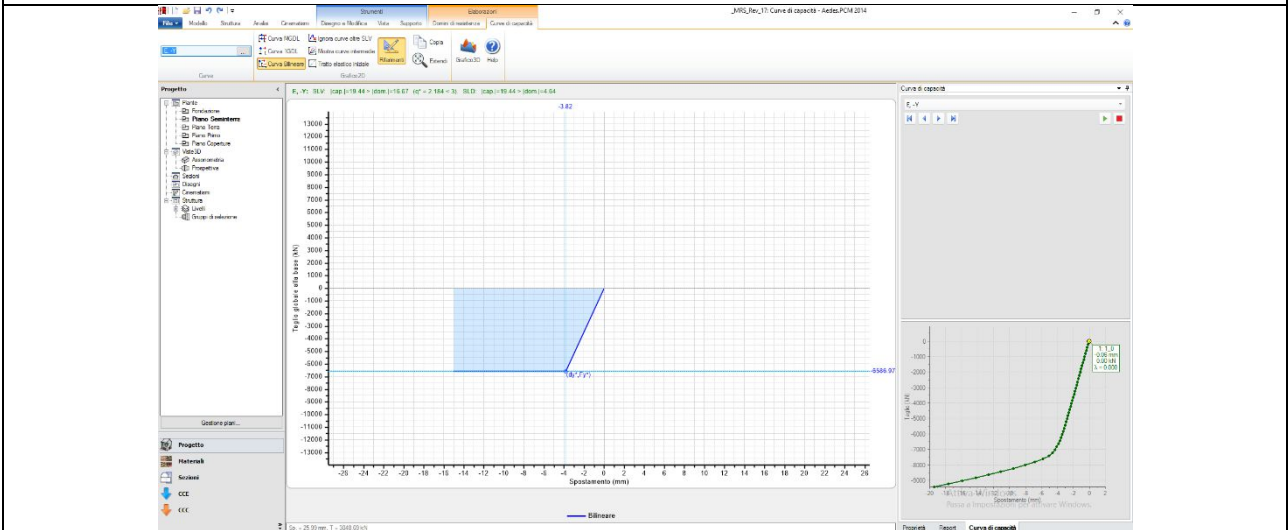
**d. Analisi pushover in direzione -y**  
**i. 3muri**



i. **Aedes**



Aedes 2-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.



Aedes 2- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano.

### 6.3.3.1 Comparazione analisi pushover

Si riportano i valori ottenuti per le analisi svolte ed il loro confronto.

Valgono le seguenti analogie:

- 1) Hyp 1 → modello con nodi vincolati nel piano, zone rigide date dall'intersezione maschio-fascia;
- 2) Hyp 2 → modello con nodi vincolati nel piano, zone rigide con diffusione a 30°;
- 3) Hyp 3 → modello con nodi non vincolati nel piano, zone rigide date dall'intersezione maschio-fascia;
- 4) Hyp 4 → modello con nodi non vincolati nel piano, zone rigide con diffusione a 30°.

HYP 1		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	8550.00	8515.63	11431.25	11634.38	6840.63	6798.44	9709.38	9259.38
$d_u$ (capacità)	[mm]	17.20	17.22	10.06	12.15	17.34	18.76	15.15	13.67
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	6.58	6.63	4.05	4.05	16.22	16.76	11.19	11.77
$q^*$		1.58	1.58	1.18	1.17	2.75	2.78	1.89	1.99
$T^*$	[s]	0.19	0.19	0.16	0.16	0.22	0.23	0.18	0.19
$k^*$	[kN/m]	3002272.00	2985519.00	4059535.00	3999769.00	1781336.00	1694795.00	263304.00	2520507.00
$F_y^*$	[kN]	10052.56	10012.01	13436.68	13575.07	4961.37	4904.43	7206.81	6850.52
$d_y^*$	[mm]	3.35	3.35	3.31	3.39	2.79	2.89	2.74	2.72

	X	Y
$m^*$	2623.47	2256.85
$\Gamma$	0.80	1.25

HYP 2		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	8203.13	8196.88	11646.88	11637.50	6850.00	6706.25	9696.88	9431.25
$d_u$ (capacità)	[mm]	21.26	21.29	19.26	19.13	21.98	21.50	19.72	19.44
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	9.32	9.35	5.72	5.74	24.12	24.28	15.93	16.67
$q^*$		1.58	1.59	1.11	1.11	3.01	3.11	2.12	2.18
$T^*$	[s]	0.25	0.25	0.21	0.21	0.30	0.30	0.23	0.23
$k^*$	[kN/m]	1694079.00	1687323.00	2330408.00	2321981.00	1068310.00	1064487.00	1820134.00	1722402.00
$F_y^*$	[kN]	10261.75	10248.97	14709.48	14692.09	4772.97	4623.38	6792.58	6586.97
$d_y^*$	[mm]	6.06	6.07	6.31	6.33	4.47	4.34	3.73	3.82

	X	Y
$m^*$	2693.01	2383.07
$\Gamma$	0.74	1.30

HYP 3		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	5959.38	6162.50	8512.50	8725.00	5501.56	5045.31	7800.00	7328.13
$d_u$ (capacità)	[mm]	16.56	18.64	17.48	19.41	21.18	20.29	22.06	21.63
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	16.30	16.51	10.77	11.09	27.01	29.20	20.35	22.80
$q^*$		1.85	1.78	1.31	1.26	3.04	3.38	2.14	2.30
$T^*$	[s]	0.35	0.36	0.29	0.29	0.35	0.37	0.29	0.32
$k^*$	[kN/m]	729524.10	712015.50	1103463.00	1048824.00	694228.00	621091.80	991015.60	854215.00
$F_y^*$	[kN]	7522.46	7805.51	10633.40	11001.00	4295.58	3871.33	6109.00	5683.40
$d_y^*$	[mm]	10.31	10.96	9.64	10.49	6.19	6.23	6.16	6.65

	X	Y
$m^*$	2303.84	2165.74
$\Gamma$	0.75	1.17

HYP 4		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	5718.00	5771.88	8396.88	8406.25	5579.69	5415.63	8218.75	8046.88
$d_u$ (capacità)	[mm]	23.11	23.29	25.43	24.19	29.19	29.72	35.17	35.25
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	25.50	25.53	18.61	18.42	41.29	45.37	32.37	35.96
$q^*$		1.98	1.96	1.37	1.36	3.45	3.31	2.38	2.44
$T^*$	[s]	0.47	0.47	0.39	0.39	0.46	0.50	0.39	0.42
$k^*$	[kN/m]	422323.50	421411.00	613114.60	620729.00	438959.60	367641.40	619627.40	533379.90
$F_y^*$	[kN]	7161.91	7224.95	10460.79	10480.08	4082.20	3965.70	5923.06	5761.03
$d_y^*$	[mm]	16.96	17.14	17.06	16.88	9.30	10.79	9.56	10.80

	X	Y
$m^*$	2365.00	2330.07
$\Gamma$	0.76	1.27

**1) Distribuzione proporzionale alle forze statiche**

**a. Direzione +x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
m*	[daN]	2594045.81	2623470.00	2693010.00	2303840.00	2365000.00
Γ	[m/s <sup>2</sup> ]	1.26	0.80	0.74	0.75	0.76

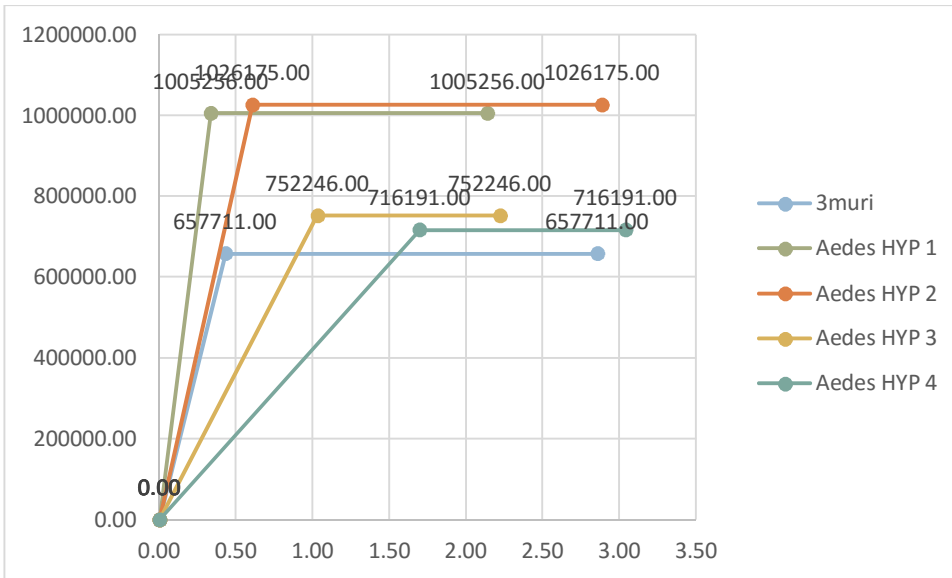
Δ							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-29424.19	-98964.19	290205.81	229045.81	-1.13	-3.82	11.19	8.83
0.46	0.52	0.52	0.50	36.19	41.51	40.87	39.68

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	890010.00	855000.00	820313.00	595938.00	571800.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	3.60	1.72	2.13	1.66	2.31
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	1.88	0.66	0.93	1.63	2.55
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		1.91	2.61	2.28	1.02	0.91
q*		2.37	1.58	1.58	1.85	1.98
T*	[s]	0.26	0.19	0.25	0.35	0.47
k*	[kN/m]	1538501.65	2993711.53	1687525.17	729898.78	422663.91
F <sub>y</sub> *	[daN]	657711.00	1005256.000	1026175.00	752246.000	716191.000
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.430	0.335	0.606	1.031	1.696
d <sub>u</sub> *	[cm]	2.857	2.139	2.885	2.223	3.041
Energia dissipata	[daN-cm]	1737766.42	1982167.28	2649242.72	1284323.73	1570456.09

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
35010.00	69697.00	294072.00	318210.00	3.93	7.83	33.04	35.75
1.88	1.47	1.94	1.29	52.22	40.94	54.00	35.81
1.22	0.95	0.25	-0.67	65.00	50.43	13.30	-35.64
-0.70	-0.37	0.90	1.01	-36.51	-19.12	46.94	52.67
0.80	0.79	0.52	0.39	33.54	33.16	21.98	16.46
0.07	0.01	-0.10	-0.21	27.91	2.71	-36.82	-82.17
-1455209.88	-149023.52	808602.87	1115837.74	-94.59	-9.69	52.56	72.53
-347545.00	-368464.00	-94535.00	-58480.00	-52.84	-56.02	-14.37	-8.89
0.10	-0.18	-0.60	-1.27	22.09	-40.93	-139.77	-294.42
0.72	-0.03	0.63	-0.18	25.12	-0.96	22.20	-6.43
-244400.86	-911476.30	453442.69	167310.33	-14.06	-52.45	26.09	9.63

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	141407.865	0.00	0.00	168380.380
0.43	657711.00	1596358.556	0.34	1005256.00	1813786.902
2.86	657711.00		2.14	1005256.00	
	TOT	1737766.421		TOT	1982167.282

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	310931.025	0.00	0.00	387782.813	0.00	0.00	607329.968
0.61	1026175.00	2338311.695	1.03	752246.00	896540.919	1.70	716191.00	963126.118
2.88	1026175.00		2.22	752246.00		3.04	716191.00	
	TOT	2649242.720		TOT	1284323.732		TOT	1570456.086



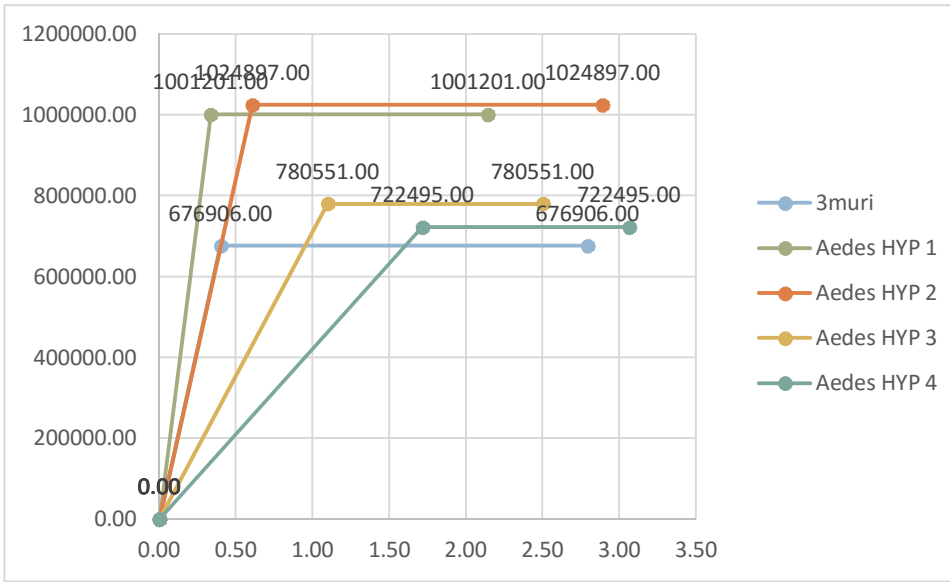
**b. Direzione -x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	949333.00	851563.00	819688.00	616250.00	577188.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	3.52	1.72	2.13	1.86	2.33
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	1.76	0.66	0.94	1.65	2.55
$d_u / d_{max}$		2.00	2.60	2.28	1.13	0.91
$q^*$		2.30	1.58	1.59	1.78	1.96
$T^*$	[s]	0.25	0.19	0.25	0.36	0.47
$k^*$	[kN/m]	1678585.52	2993711.53	1687323.00	713634.14	421411.00
$F_y^*$	[daN]	676906.00	1001201.00	1024897.00	780551.00	722495.00
$d_y^*$	[cm]	0.40	0.34	0.61	1.10	1.71
$d_u^*$	[cm]	2.79	2.14	2.89	2.50	3.06
Energia dissipata	[daN·cm]	1755657.78	1976662.17	2649602.80	1525207.13	1594888.70

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
97770.00	129645.00	333083.00	372145.00	10.30	13.66	35.09	39.20
1.80	1.39	1.66	1.19	51.08	39.52	47.05	33.84
1.10	0.83	0.11	-0.79	62.33	46.88	6.19	-45.06
-0.60	-0.28	0.87	1.09	-29.86	-13.85	43.55	54.39
0.72	0.71	0.52	0.34	31.22	31.04	22.52	14.78
0.06	0.00	-0.11	-0.22	24.70	-1.62	-44.53	-90.69
-1315126.02	-8939.65	964951.38	1257714.45	-78.35	-0.53	57.49	74.93
-324295.00	-347991.00	-103645.00	-45589.00	-47.91	-51.41	-15.31	-6.73
0.07	-0.21	-0.70	-1.31	16.25	-51.75	-174.00	-328.50
0.65	-0.10	0.29	-0.27	23.33	-3.40	10.44	-9.69
-221004.38	-893945.02	230450.65	160769.08	-12.59	-50.92	13.13	9.16

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	135381.200	0.00	0.00	167701.168
0.40	676906.00	1620276.584	0.34	1001201.00	1808961.001
2.79	676906.00		2.14	1001201.00	
	TOT	1755657.784		TOT	1976662.168

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	311056.240	0.00	0.00	427741.948	0.00	0.00	619178.215
0.61	1024897.00	2338546.562	1.10	780551.00	1097465.183	1.71	722495.00	975710.484
2.89	1024897.00		2.50	780551.00		3.06	722495.00	
	TOT	2649602.801		TOT	1525207.131		TOT	1594888.699



**c. Direzione +y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
m*	[daN]	2221944.46	2256850.00	2383070.00	2165740.00	2330070.00
Γ	[m/s <sup>2</sup> ]	1.29	1.25	1.30	1.17	1.27

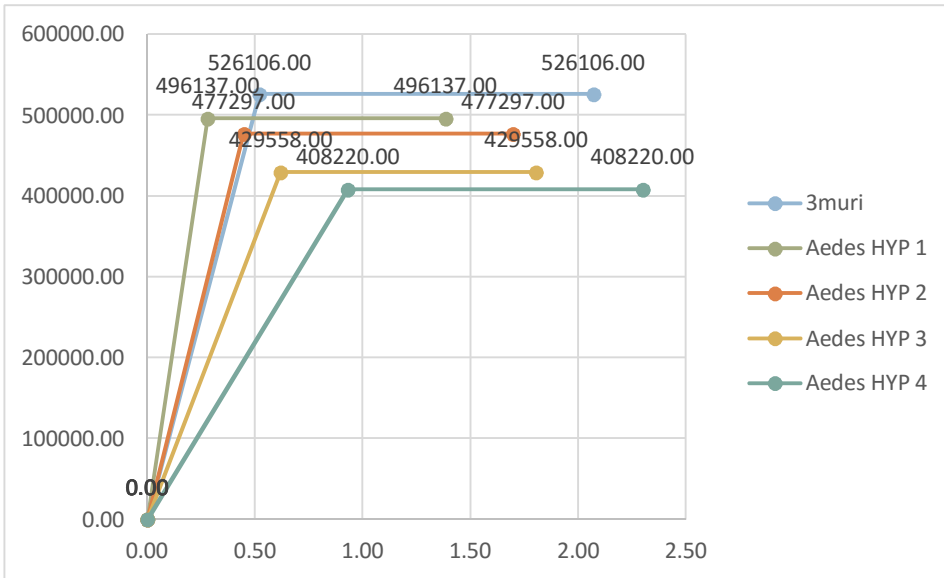
Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-34905.54	-161125.54	56204.46	-108125.54	-1.57	-7.25	2.53	-4.87
0.04	0.00	0.12	0.02	2.79	-0.39	8.99	1.55

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	746068.00	684063.00	685000.00	550156.00	557969.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	2.67	1.73	2.20	2.12	2.92
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	2.32	1.62	2.41	2.70	4.13
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		1.15	1.07	0.91	0.78	0.71
q*		2.53	2.75	3.01	3.04	3.45
T*	[s]	0.29	0.22	0.30	0.35	0.46
k*	[kN/m]	1014841.63	1775686.92	1066555.94	693987.78	438528.42
F <sub>y</sub> *	[daN]	526106.00	496137.00	477297.00	429558.00	408220.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.52	0.28	0.45	0.62	0.93
d <sub>u</sub> *	[cm]	2.07	1.38	1.70	1.80	2.30
Energia dissipata	[daN·cm]	952129.51	616834.79	703439.03	642012.48	748440.83

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
62005.00	61068.00	195912.00	188099.00	8.31	8.19	26.26	25.21
0.94	0.47	0.55	-0.25	35.06	17.68	20.67	-9.33
0.70	-0.09	-0.38	-1.81	30.09	-3.97	-16.42	-77.97
0.08	0.24	0.37	0.44	7.11	20.82	31.86	38.57
-0.22	-0.48	-0.51	-0.92	-8.54	-19.13	-20.28	-36.17
0.07	0.00	-0.06	-0.16	23.81	-1.02	-19.39	-55.78
-760845.29	-51714.31	320853.85	576313.21	-74.97	-5.10	31.62	56.79
29969.00	48809.00	96548.00	117886.00	5.70	9.28	18.35	22.41
0.24	0.07	-0.10	-0.41	46.35	14.04	-19.04	-78.85
0.69	0.37	0.27	-0.23	33.19	18.00	12.84	-11.05
335294.72	248690.48	310117.03	203688.68	35.22	26.12	32.57	21.39

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	136787.560	0.00	0.00	69211.112
0.52	526106.00	815341.950	0.28	496137.00	547623.677
2.07	526106.00		1.38	496137.00	
	TOT	952129.510		TOT	616834.788

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	106675.880	0.00	0.00	132948.201	0.00	0.00	189822.30
0.45	477297.00	596763.149	0.62	429558.00	509064.283	0.93	408220.00	558618.53
1.70	477297.00		1.80	429558.00		2.30	408220.00	
	TOT	703439.029		TOT	642012.484		TOT	748440.83



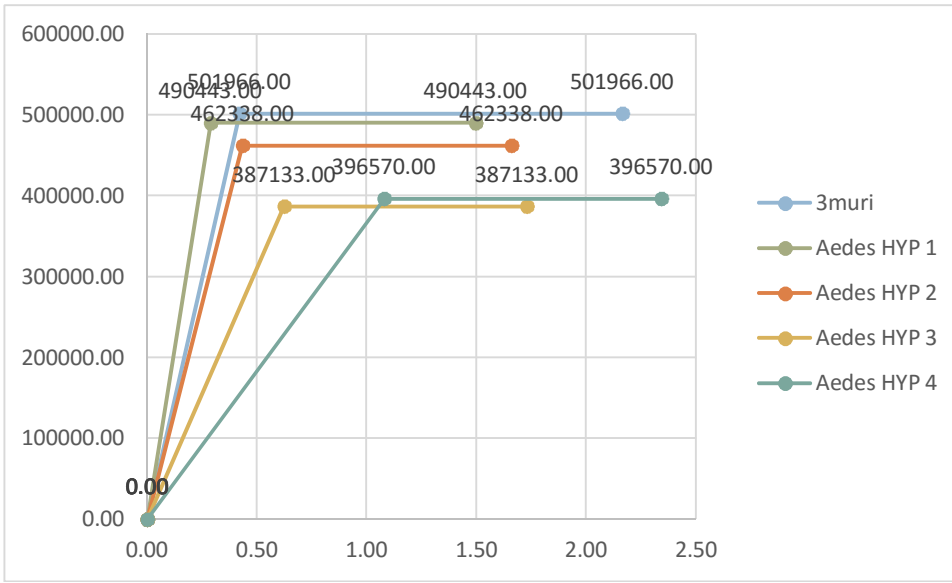
**d. Direzione -y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	697476.00	679844.00	670625.00	504531.00	541563.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	2.79	1.88	2.15	2.03	2.97
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	2.11	1.68	2.43	2.92	4.54
$d_u / d_{max}$		1.32	1.12	0.89	0.69	0.66
$q^*$		2.66	2.78	3.11	3.38	3.31
$T^*$	[s]	0.27	0.23	0.30	0.37	0.50
$k^*$	[kN/m]	1176976.09	1698992.52	1066555.94	621181.10	367949.91
$F_y^*$	[daN]	501966.00	490443.000	462338.000	387133.000	396570.000
$d_y^*$	[cm]	0.42	0.29	0.43	0.62	1.08
$d_u^*$	[cm]	2.16	1.50	1.66	1.73	2.34
Energia dissipata	[daN·cm]	980234.54	662839.97	667260.84	548482.05	714086.74

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
17632.00	26851.00	192945.00	155913.00	2.53	3.85	27.66	22.35
0.91	0.64	0.76	-0.18	32.76	22.94	27.28	-6.52
0.43	-0.32	-0.81	-2.43	20.57	-15.07	-38.39	-115.02
0.20	0.44	0.63	0.67	15.35	33.03	47.45	50.46
-0.12	-0.45	-0.72	-0.65	-4.44	-16.95	-26.95	-24.47
0.04	-0.02	-0.10	-0.23	16.12	-8.79	-35.90	-83.15
-522016.43	110420.16	555794.99	809026.19	-44.35	9.38	47.22	68.74
11523.00	39628.00	114833.00	105396.00	2.30	7.89	22.88	21.00
0.13	-0.01	-0.20	-0.66	31.19	-3.33	-48.33	-156.90
0.67	0.50	0.43	-0.18	30.83	23.24	20.09	-8.20
317394.56	312973.70	431752.48	266147.80	32.38	31.93	44.05	27.15

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	105412.860	0.00	0.00	70869.014
0.42	501966.00	874821.675	0.29	490443.00	591970.959
2.16	501966.00		1.50	490443.00	
	TOT	980234.535		TOT	662839.972

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	100327.346	0.00	0.00	120591.930	0.00	0.00	213949.515
0.43	462338.00	566933.493	0.62	387133.00	427890.125	1.08	396570.00	500137.222
1.66	462338.00		1.73	387133.00		2.34	396570.00	
	TOT	667260.839		TOT	548482.054		TOT	714086.737



**2) Distribuzione uniforme di forze**

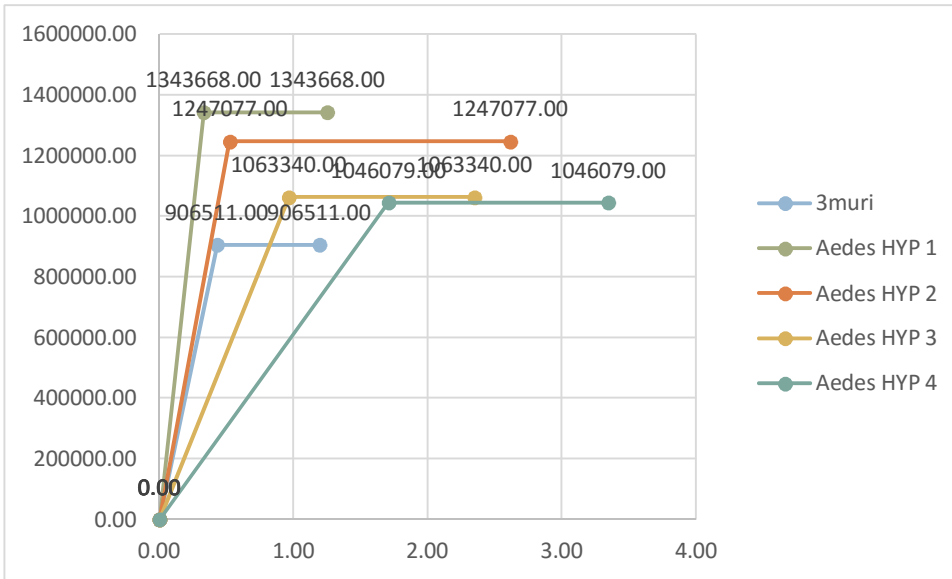
**a. Direzione +x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	1189318.00	1143125.00	1164688.00	851250.00	839688.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.50	1.01	1.93	1.75	2.54
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	1.36	0.41	0.57	1.08	1.86
$d_u / d_{max}$		1.10	2.48	3.37	1.62	1.37
$q^*$		1.72	1.18	1.11	1.31	1.37
$T^*$	[s]	0.22	0.16	0.21	0.29	0.39
$k^*$	[kN/m]	2135252.06	4045720.48	2330408.00	1104201.31	613849.16
$F_y^*$	[daN]	906511.00	1343668.00	1470948.00	1063340.00	1046079.00
$d_y^*$	[cm]	0.43	0.33	0.63	0.96	1.71
$d_u^*$	[cm]	1.19	1.25	2.61	2.35	3.35
Energia dissipata	[daN·cm]	884279.90	1458879.17	3379940.12	1982394.04	2607930.00

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
46193.00	24630.00	338068.00	349630.00	3.88	2.07	28.43	29.40
0.49	-0.43	-0.25	-1.04	32.93	-28.40	-16.53	-69.53
0.96	0.79	0.28	-0.50	70.22	57.94	20.81	-36.84
-1.38	-2.26	-0.52	-0.26	-125.21	-205.29	-47.15	-23.89
0.54	0.62	0.41	0.36	31.45	35.76	23.95	20.64
0.06	0.01	-0.07	-0.17	26.94	4.57	-31.05	-78.08
-1911285.01	-299477.98	1030234.16	1520586.31	-89.55	-14.03	48.27	71.24
-437157.00	-340566.00	-156829.00	-139568.00	-48.22	-37.57	-17.30	-15.40
0.10	-0.09	-0.53	-1.28	23.02	-21.86	-124.19	-296.74
-0.06	-1.42	-1.16	-2.16	-5.10	-119.52	-97.09	-181.07
-574599.28	-2047968.70	-1098114.14	-1723650.11	-64.98	-231.60	-124.18	-194.92

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	194899.865	0.00	0.00	222377.054
0.43	906511.00	689380.032	0.33	1343668.00	1236502.121
1.19	906511.00		1.25	1343668.00	
	TOT	884279.897		TOT	1458879.175

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	326734.174	0.00	0.00	512529.880	0.00	0.00	892305.387
0.52	1247077.00	2605514.423	0.96	1063340.00	1469864.159	1.71	1046079.00	1715624.617
2.61	1247077.00		2.35	1063340.00		3.35	1046079.00	
	TOT	2932248.597		TOT	1982394.039		TOT	2607930.004



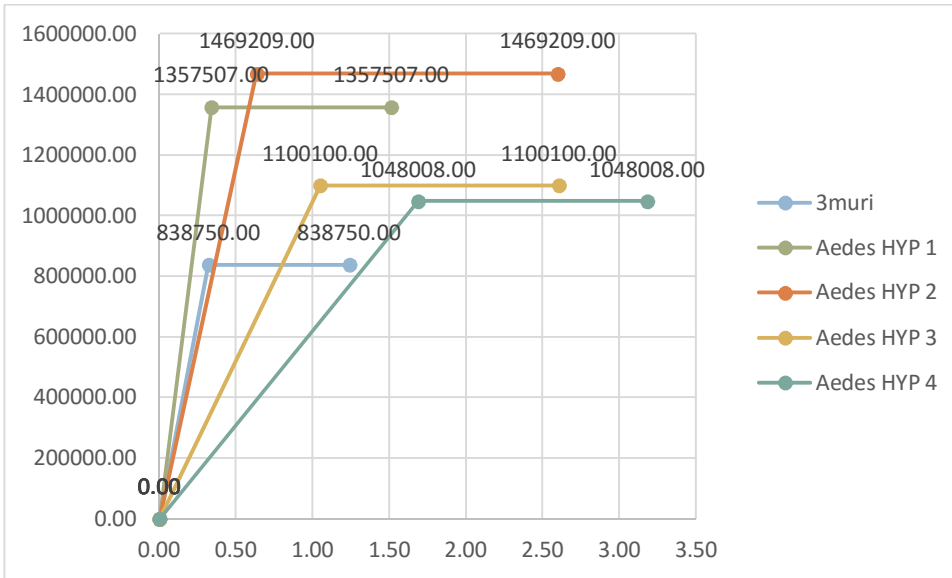
**b. Direzione -x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	1163864.00	1163438.00	1163750.00	872500.00	840625.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.56	1.22	1.91	1.94	2.42
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	1.23	0.41	0.57	1.11	1.84
$d_u / d_{max}$		1.27	3.00	3.33	1.75	1.31
$q^*$		1.86	1.17	1.11	1.26	1.36
$T^*$	[s]	0.20	0.16	0.21	0.29	0.39
$k^*$	[kN/m]	2585027.14	3995619.16	2321507.85	1052246.26	620193.81
$F_y^*$	[daN]	838750.00	1357507.00	1469209.00	1100100.00	1048008.00
$d_y^*$	[cm]	0.32	0.34	0.63	1.05	1.69
$d_u^*$	[cm]	1.24	1.51	2.60	2.61	3.18
Energia dissipata	[daN·cm]	904252.38	1821359.04	3348559.55	2289164.13	2451180.40

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
426.00	114.00	291364.00	323239.00	0.04	0.01	25.03	27.77
0.35	-0.35	-0.38	-0.86	22.12	-22.63	-24.42	-55.06
0.83	0.66	0.12	-0.61	67.07	53.33	9.84	-49.76
-1.73	-2.06	-0.48	-0.04	-136.54	-162.77	-38.00	-3.54
0.69	0.75	0.60	0.50	37.26	40.54	32.04	26.77
0.04	-0.02	-0.10	-0.19	19.10	-7.54	-47.74	-94.97
-1410592.02	263519.29	1532780.88	1964833.32	-54.57	10.19	59.29	76.01
-518757.00	-630459.00	-261350.00	-209258.00	-61.85	-75.17	-31.16	-24.95
-0.02	-0.31	-0.73	-1.37	-5.94	-97.81	-227.81	-427.50
-0.27	-1.36	-1.37	-1.94	-22.06	-109.65	-110.43	-157.08
-917106.66	-2444307.17	-1384911.75	-1546928.01	-101.42	-270.31	-153.16	-171.07

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	134200.000	0.00	0.00	230097.437
0.32	838750.00	770052.381	0.34	1357507.00	1591261.601
1.24	838750.00		1.51	1357507.00	
	TOT	904252.381		TOT	1821359.037

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	465004.649	0.00	0.00	577002.450	0.00	0.00	884518.752
0.63	1469209.00	2883554.905	1.05	1100100.00	1712161.677	1.69	1048008.00	1566661.643
2.60	1469209.00		2.61	1100100.00		3.18	1048008.00	
	TOT	3348559.554		TOT	2289164.127		TOT	2451180.395



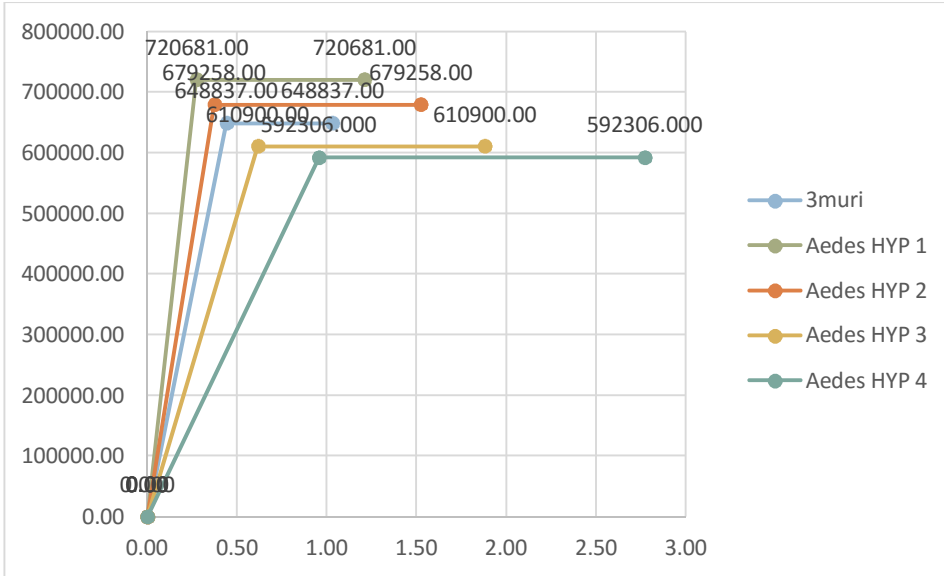
**c. Direzione +y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	863562.00	970938.00	969688.00	780000.00	821875.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.33	1.52	1.97	2.21	3.52
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	1.73	1.12	1.59	2.04	3.24
$d_u / d_{max}$		0.769	1.354	1.238	1.084	1.086
$q^*$		2.06	1.89	2.12	2.14	2.38
$T^*$	[s]	0.25	0.18	0.23	0.29	0.39
$k^*$	[kN/m]	1461371.95	2631641.86	1820134.00	989171.04	620593.53
$F_y^*$	[daN]	648837.00	720681.00	679258.00	610900.00	592306.00
$d_y^*$	[cm]	0.44	0.27	0.37	0.62	0.96
$d_u^*$	[cm]	1.03	1.21	1.52	1.88	2.77
Energia dissipata	[daN·cm]	526211.837	771945.902	907678.828	959751.999	1357145.608

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-107376.00	-106126.00	83562.00	41687.00	-12.43	-12.29	9.68	4.83
-0.19	-0.64	-0.88	-2.19	-13.91	-48.27	-65.86	-164.44
0.61	0.14	-0.31	-1.51	35.32	7.92	-17.63	-87.11
-0.59	-0.47	-0.32	-0.32	-76.11	-61.02	-41.01	-41.33
0.17	-0.06	-0.08	-0.32	8.25	-2.82	-3.88	-15.29
0.06	0.02	-0.05	-0.14	24.90	7.35	-20.00	-57.14
-1170269.91	-358762.05	472200.91	840778.41	-80.08	-24.55	32.31	57.53
-71844.00	-30421.00	37937.00	56531.00	-11.07	-4.69	5.85	8.71
0.17	0.07	-0.18	-0.52	37.73	15.23	-40.00	-117.27
-0.18	-0.49	-0.85	-1.74	-17.18	-47.70	-82.25	-168.60
-245734.06	-381466.99	-433540.16	-830933.77	-46.70	-72.49	-82.39	-157.91

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	142744.140	0.000	0.00	98733.30
0.44	648837.00	383467.697	0.274	720681.00	673212.60
1.03	648837.00		1.208	720681.00	
	TOT	526211.837			771945.90

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	126681.617	0.000	0.00	188157.20	0.000	0.000	283122.268
0.37	679258.00	780997.211	0.616	610900.00	771594.80	0.956	592306.000	1074023.340
1.52	679258.00		1.879	610900.00		2.769	592306.000	
		907678.83			959752.00			1357145.61



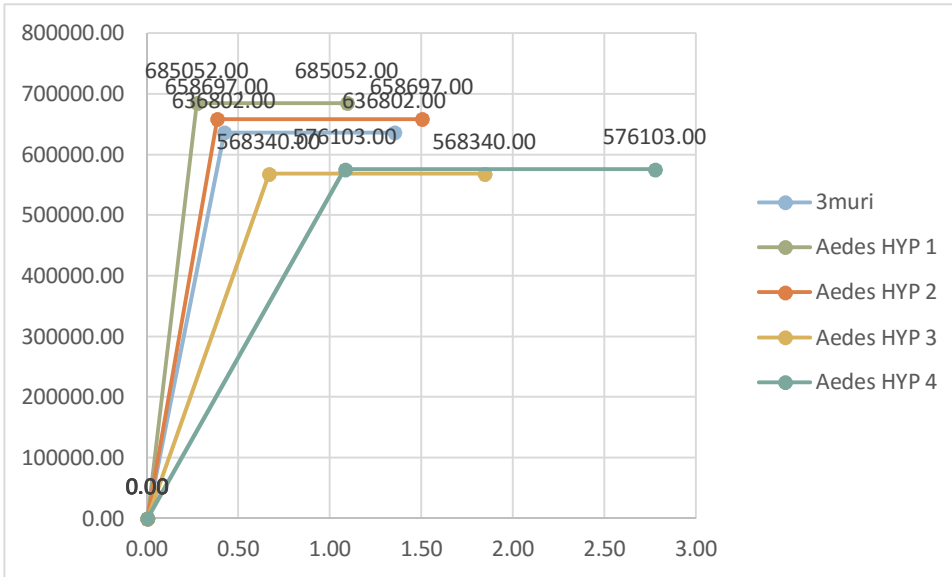
**d. Direzione -y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	841851.00	925938.00	943125.00	732813.00	804688.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.74	1.37	1.94	2.16	3.53
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	1.69	1.18	1.67	2.28	3.60
$d_u / d_{max}$		1.03	1.16	1.17	0.95	0.98
$q^*$		2.09	1.99	2.18	2.30	2.44
$T^*$	[s]	0.24	0.19	0.23	0.32	0.42
$k^*$	[kN/m]	1522896.72	2520848.43	1718164.82	856232.86	534112.22
$F_y^*$	[daN]	636802.00	685052.00	658697.00	568340.00	576103.00
$d_y^*$	[cm]	0.42	0.27	0.38	0.67	1.08
$d_u^*$	[cm]	1.35	1.09	1.50	1.84	2.78
Energia dissipata	[daN·cm]	725213.81	653616.089	862997.342	858147.410	1287930.423

Variazioni							
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-84087.00	-101274.00	109038.00	37163.00	-9.99	-12.03	12.95	4.41
0.37	-0.20	-0.42	-1.79	21.44	-11.72	-24.31	-102.59
0.51	0.02	-0.59	-1.91	30.36	1.36	-34.91	-112.78
-0.13	-0.14	0.08	0.05	-12.81	-13.27	7.86	4.79
0.10	-0.09	-0.21	-0.35	4.83	-4.50	-10.05	-16.79
0.05	0.01	-0.08	-0.18	21.67	2.50	-31.67	-72.92
-997951.70	-195268.09	666663.87	988784.51	-65.53	-12.82	43.78	64.93
-48250.00	-21895.00	68462.00	60699.00	-7.58	-3.44	10.75	9.53
0.15	0.04	-0.25	-0.66	35.24	9.05	-58.33	-157.14
0.26	-0.15	-0.49	-1.43	19.18	-11.29	-36.59	-105.78
71597.72	-137783.53	-132933.60	-562716.61	9.87	-19.00	-18.33	-77.59

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	133728.420	0.00	0.00	93167.072
0.42	636802.00	591485.393	0.27	685052.00	560449.017
1.35	636802.00		1.09	685052.00	
	TOT	725213.813		TOT	653616.089

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	125811.127	0.00	0.00	188973.050	0.00	0.00	311095.620
0.38	658697.00	737186.215	0.67	568340.00	669174.360	1.08	576103.00	976834.803
1.50	658697.00		1.84	568340.00		2.78	576103.00	
	TOT	862997.342		TOT	858147.410		TOT	1287930.423



Si riporta i valori ottenuti per la valutazione degli indicatori di rischio sismico

**1) 3 muri**

Nei grafici a seguire si riportano i valori relativi alla capacità della struttura in termini di accelerazione di picco al suolo e rapporto tra l'accelerazione di capacità e quella di domanda per le diverse distribuzioni analizzate durante le analisi pushover.

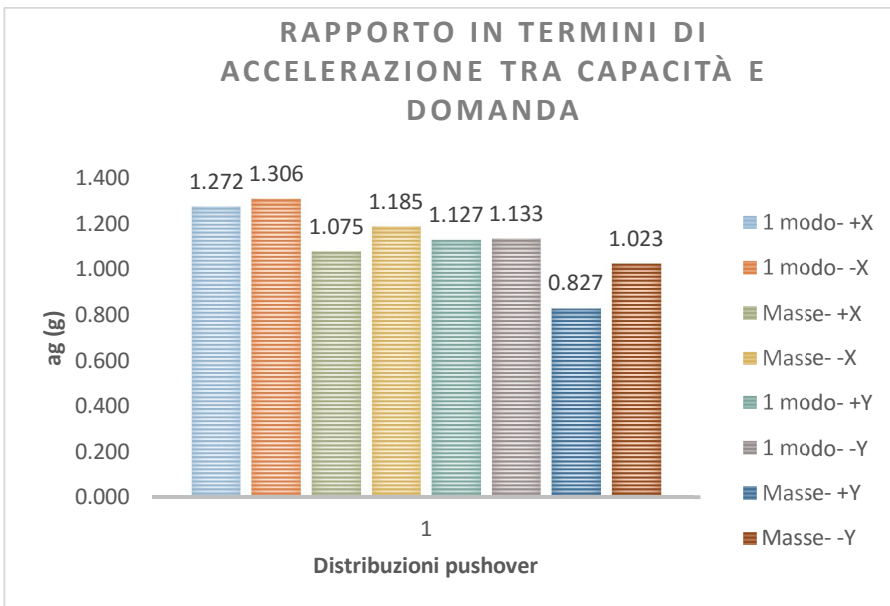
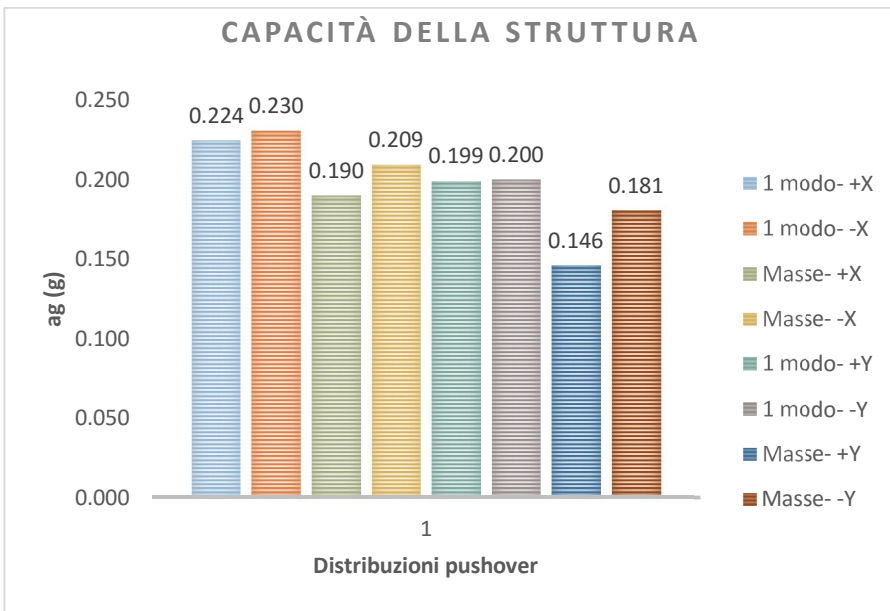
**3 muri**

g	[m/s <sup>2</sup> ]	9.806
TR <sub>D</sub> (domanda)	[anni]	712
PGA <sub>D</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.730
	[g]	0.176
V <sub>R</sub>	[anni]	75
V <sub>N</sub>	[anni]	50
C <sub>U</sub>		1.5
P <sub>VR-SLV</sub>		0.10
P <sub>VR-SLC</sub>		0.05

		3muri							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1678	1865	915	1245	1061	1092	401	767
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		2.357	2.619	1.285	1.749	1.490	1.534	0.563	1.077
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.421	1.484	1.108	1.257	1.178	1.192	0.790	1.031
PGA <sub>C</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.200	2.260	1.860	2.050	1.950	1.960	1.430	1.770
	[g]	0.224	0.230	0.190	0.209	0.199	0.200	0.146	0.181
α PGA		1.272	1.306	1.075	1.185	1.127	1.133	0.827	1.023
P <sub>VR</sub>		0.04	0.04	0.08	0.06	0.07	0.07	0.17	0.09
	[%]	4.37	3.94	7.87	5.85	6.82	6.64	17.06	9.32

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1678	1865	915	1245	1061	1092	401	767
V <sub>R</sub>	[anni]	176.79	196.50	96.40	131.17	111.79	115.05	42.25	80.81
V <sub>N</sub>	[anni]	117.86	131.00	64.27	87.45	74.53	76.70	28.17	53.87

α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.563
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> - minima		0.790
α PGA- minima		0.827
TR <sub>C</sub> MINIMA	[anni]	401
PGA <sub>C</sub> MINIMA	[g]	0.146
V <sub>N</sub> MINIMA	[anni]	28.17

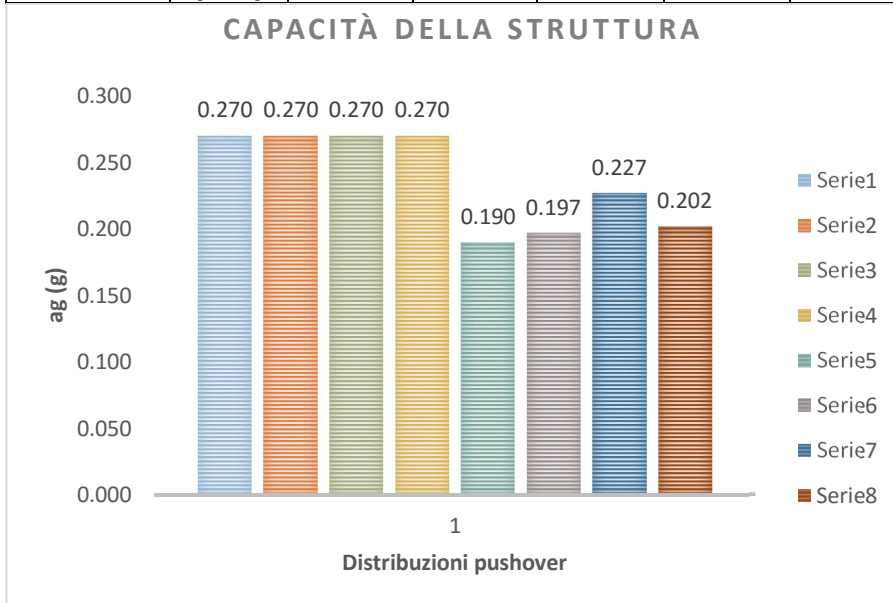


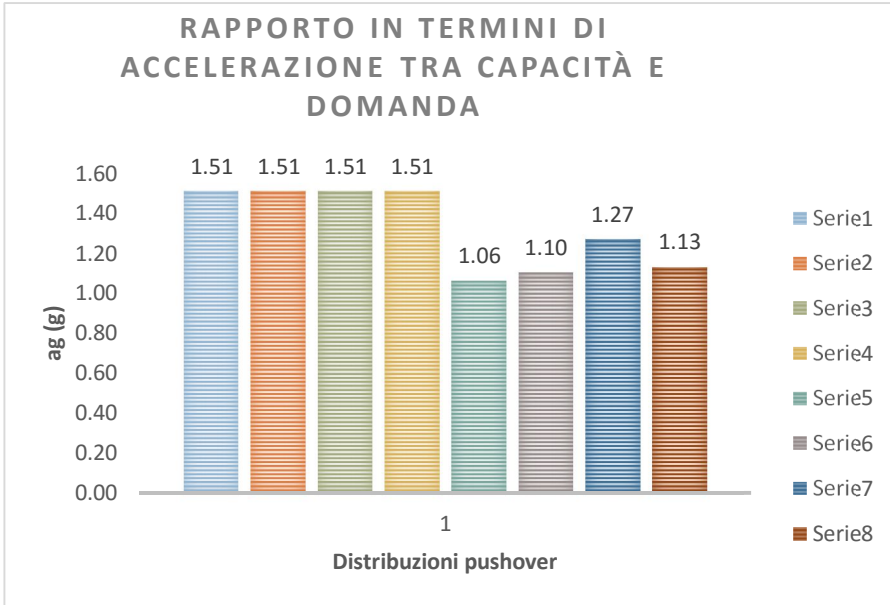
**2) Aedes- Hyp. 1**

g	[m/s <sup>2</sup> ]	9.806
TR <sub>D</sub> (domanda)	[anni]	712
PGA <sub>D</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.755
	[g]	0.179
V <sub>R</sub>	[anni]	75
V <sub>N</sub>	[anni]	50
C <sub>U</sub>		1.5
P <sub>VR-SLV</sub>		0.10
P <sub>VR-SLC</sub>		0.05

		HYP 1							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	834	926	1454	998
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		3.48	3.48	3.48	3.48	1.17	1.30	2.04	1.40
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.67	1.67	1.67	1.67	1.07	1.11	1.34	1.15
PGA <sub>C</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.65	2.65	2.65	2.65	1.86	1.93	2.23	1.98
	[g]	0.270	0.270	0.270	0.270	0.190	0.197	0.227	0.202
α PGA		1.51	1.51	1.51	1.51	1.06	1.10	1.27	1.13
P <sub>VR</sub>		0.03	0.03	0.03	0.03	0.09	0.08	0.05	0.07
	[%]	2.98	2.98	2.98	2.98	8.60	7.78	5.03	7.24

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	834	926	1454	998
V <sub>R</sub>	[anni]	260.77	260.77	260.77	260.77	87.87	97.56	153.19	105.15
V <sub>N</sub>	[anni]	173.84	173.84	173.84	173.84	58.58	65.04	102.13	70.10

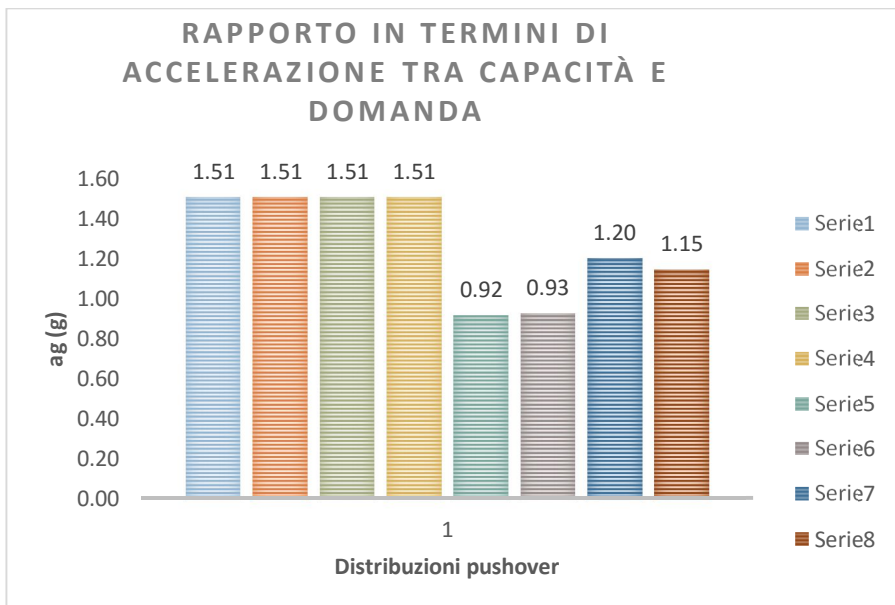
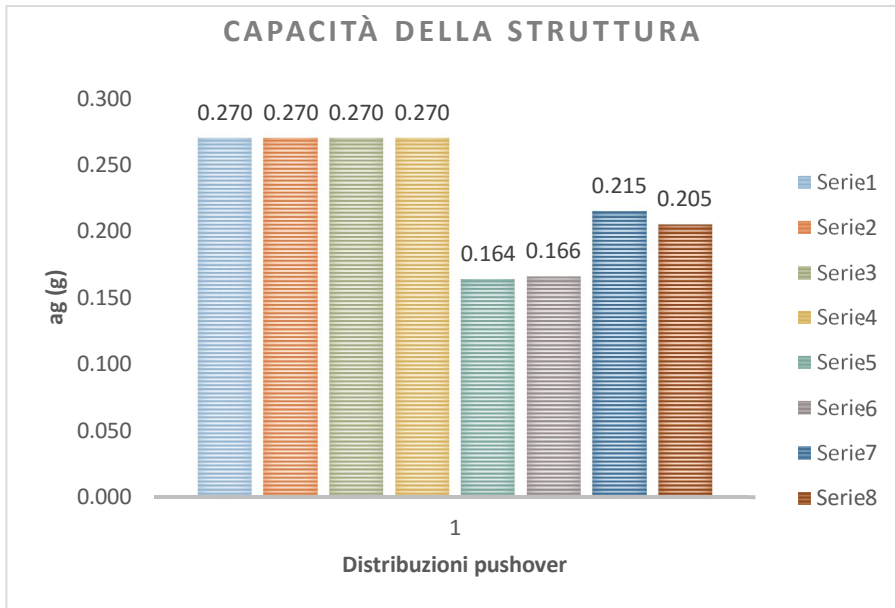




**3) Aedes- Hyp. 2**

		HYP 2							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>c</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	544	574	1212	1045
α TR (TR <sub>c</sub> /TR <sub>D</sub> )		3.48	3.48	3.48	3.48	0.76	0.81	1.70	1.47
α TR (TR <sub>c</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.67	1.67	1.67	1.67	0.90	0.92	1.24	1.17
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.65	2.65	2.65	2.65	1.61	1.63	2.11	2.01
	[g]	0.270	0.270	0.270	0.270	0.164	0.166	0.215	0.205
α PGA		1.51	1.51	1.51	1.51	0.92	0.93	1.20	1.15
P <sub>VR</sub>		0.03	0.03	0.03	0.03	0.13	0.12	0.06	0.07
	[%]	2.98	2.98	2.98	2.98	12.88	12.25	6.00	6.93

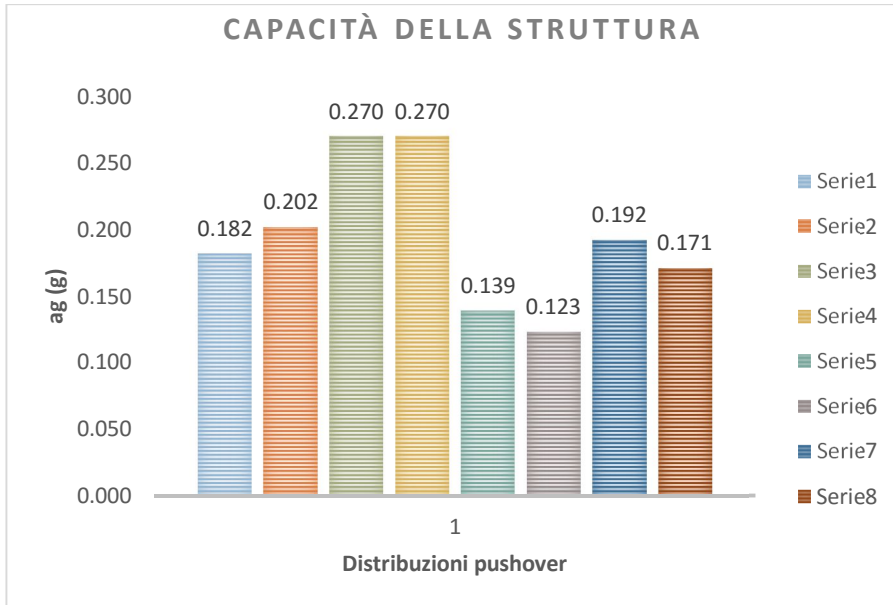
TR <sub>c</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	544	574	1212	1045
V <sub>R</sub>	[anni]	260.77	260.77	260.77	260.77	57.32	60.48	127.70	110.10
V <sub>N</sub>	[anni]	173.84	173.84	173.84	173.84	38.21	40.32	85.13	73.40

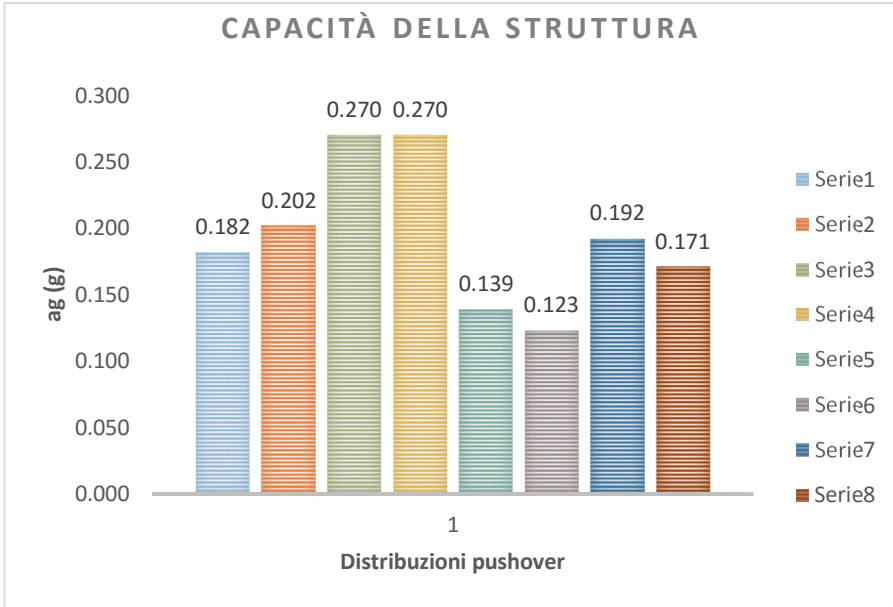


**4) Aedes- Hyp. 3**

		HYP 3							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	736	998	2475	2475	363	271	873	614
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		1.03	1.40	3.48	3.48	0.51	0.38	1.23	0.86
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.01	1.15	1.67	1.67	0.76	0.67	1.09	0.94
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.78	1.98	2.65	2.65	1.36	1.21	1.88	1.68
	[g]	0.182	0.202	0.270	0.270	0.139	0.123	0.192	0.171
α PGA		1.02	1.13	1.51	1.51	0.78	0.69	1.07	0.96
P <sub>VR</sub>		0.10	0.07	0.03	0.03	0.19	0.24	0.08	0.11
	[%]	9.69	7.24	2.98	2.98	18.67	24.18	8.23	11.50

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	736	998	2475	2475	363	271	873	614
V <sub>R</sub>	[anni]	77.55	105.15	260.77	260.77	38.25	28.55	91.98	64.69
V <sub>N</sub>	[anni]	51.70	70.10	173.84	173.84	25.50	19.04	61.32	43.13

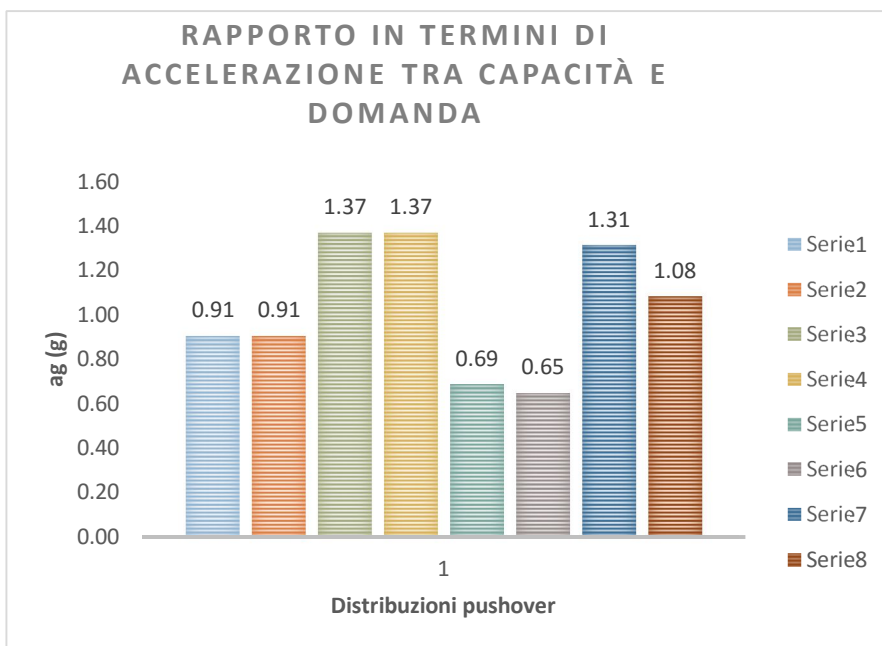
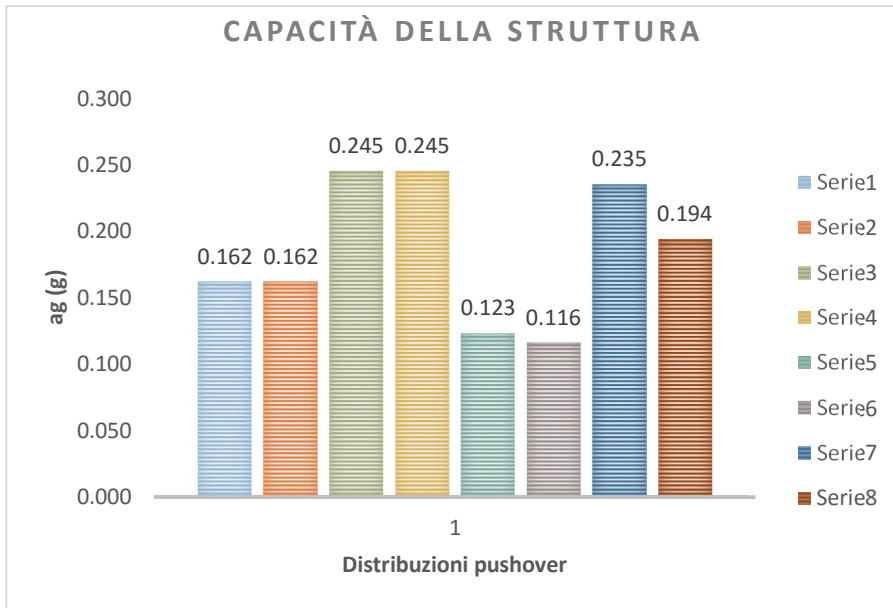




5) Aedes- Hyp. 4

		HYP 4							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	525	535	1842	1842	271	231	1619	899
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.74	0.75	2.59	2.59	0.38	0.32	2.27	1.26
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		0.88	0.89	1.48	1.48	0.67	0.63	1.40	1.10
PGA <sub>C</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.59	1.59	2.40	2.40	1.21	1.14	2.30	1.90
	[g]	0.162	0.162	0.245	0.245	0.123	0.116	0.235	0.194
α PGA		0.91	0.91	1.37	1.37	0.69	0.65	1.31	1.08
P <sub>VR</sub>		0.13	0.13	0.04	0.04	0.24	0.28	0.05	0.08
	[%]	13.31	13.08	3.99	3.99	24.18	27.72	4.53	8.00

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	525	535	1842	1842	271	231	1619	899
V <sub>R</sub>	[anni]	55.31	56.37	194.07	194.07	28.55	24.34	170.58	94.72
V <sub>N</sub>	[anni]	36.88	37.58	129.38	129.38	19.04	16.23	113.72	63.15



Si propone una tabella riassuntiva delle peggiori condizioni riscontrate.

		HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4
		1 modo- Y	1 modo- Y	1 modo- -Y	1 modo- -Y
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		1.171	0.764	0.381	0.324
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.067	0.896	0.673	0.630
$\alpha$ PGA- minima		1.061	0.916	0.687	0.648
TR <sub>C</sub> MINIMA	[anni]	834	544	271	231
PGA <sub>C</sub> MINIMA	[g]	0.190	0.164	0.123	0.116
V <sub>N</sub> MINIMA	[anni]	58.58	38.21	19.04	16.23

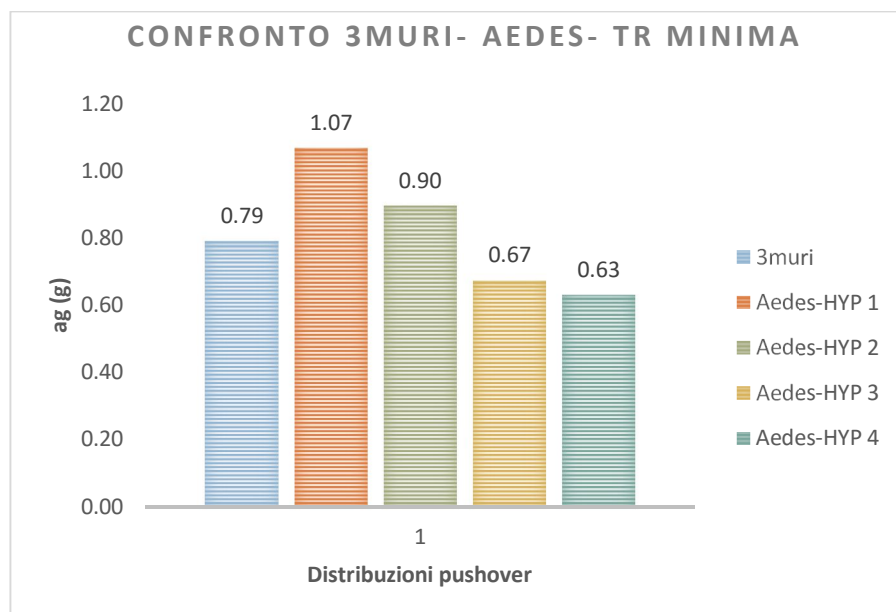
### 6) Confronto

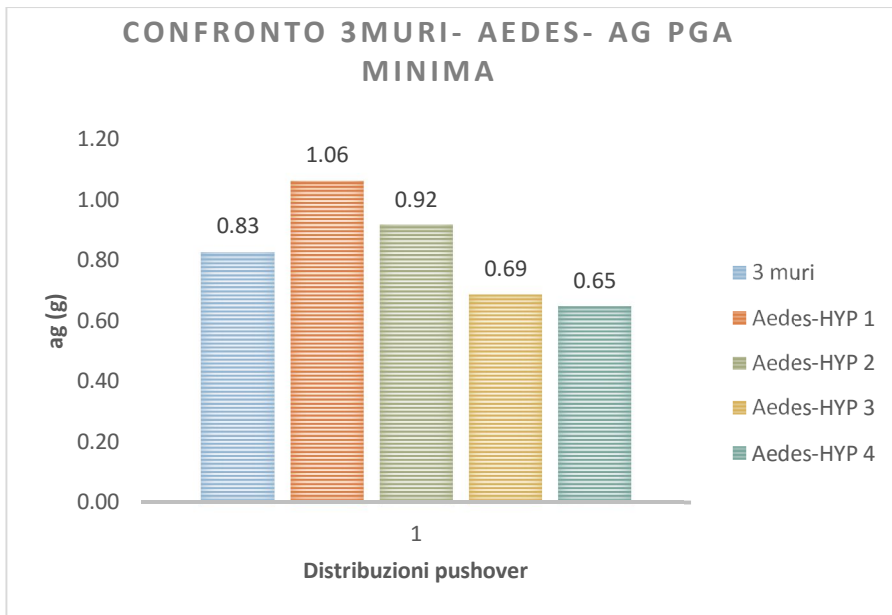
#### Comparazione

		3 muri	Aedes				Differenze			
			HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
PGA <sub>C</sub>	[g]	0.15	0.19	0.16	0.12	0.12	-30.29	12.46	15.65	20.45
PGA <sub>D</sub>		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	-1.46	-1.46	-1.46	-1.46
$\alpha$ PGA- minima		0.83	1.06	0.92	0.69	0.65	-28.41	-10.84	16.87	21.60

#### Comparazione

	3 muri	Aedes				Differenze			
		HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
$\alpha$ PGA- minima	0.83	1.06	0.92	0.69	0.65	-28.41	-10.84	16.87	21.60
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )	0.56	1.17	0.76	0.38	0.32	-107.98	-35.66	32.42	42.39
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> -minima	0.79	1.07	0.90	0.67	0.63	-35.02	-13.32	14.84	20.24





### 6.3.4 Analisi semplificata per valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale

Alle analisi pushover sono state affiancate anche le valutazioni mediante metodo semplificato LV1 proposto dalle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, tale valutazione è stata svolta avvalendosi del software Aedes e secondo le quattro ipotesi di vincolamento già esposte; si riportano i valori ottenuti.

## Verifica semplificata per Ville e Palazzi DPCM 9-2-2011

		Aedes- HYP 1	Aedes- HYP 2	Aedes- HYP 3	Aedes- HYP 4
Peso sismico totale	[kN]	41695.620	41695.620	41695.620	41695.620
Periodo proprio	[s]	0.411	0.411	0.411	0.411
q		2.800	2.800	2.800	2.800

Collasso		Uniforme III piano in Y	Uniforme III piano in Y	Uniforme III piano in Y	Uniforme III piano in Y
----------	--	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

#### Spettro di progetto

Domanda	[g]	0.220	0.220	0.220	0.220
Capacità	[g]	0.139	0.145	0.157	0.164

#### PGA

Domanda	[g]	0.179	0.179	0.179	0.179
Capacità	[g]	0.107	0.112	0.121	0.127

#### TR

Domanda	[anni]	712	712	712	712
Capacità	[anni]	191	212	261	293

#### Indicatori rischio sismico

PGA		0.598	0.626	0.676	0.709
TR		0.268	0.298	0.367	0.412

Si evidenziano valori degli indici di sicurezza in generale inferiori a quelli ottenuti con l'analisi pushover come atteso, essendo la valutazione speditiva basata sull'analisi sismica lineare che risulta cautelativa rispetto all'analisi pushover.

Le analisi colgono univocamente il tipo di vulnerabilità che porta al collasso indicando come condizione peggiore il collasso per piano soffice del terzo piano in direzione y come riscontrato anche dal lesionamento provocato dal sisma del 2012.

Si riporta la tabella comparativa tra i valori determinati per l'analisi pushover e per la valutazione sismica, la variazione massima è del 44% e del 32% per l'ipotesi 2.

	Aedes- pushover				Aedes LV1				Differenze			
	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
a PGA- minima	1.06	0.92	0.69	0.65	0.60	0.63	0.68	0.71	43.68	31.71	1.63	-9.48

Si riporta infine nella tabella un confronto tra i valori ottenuti dalla pushover in 3muri confrontati con la media dei valori determinati dalle analisi di pushover in Aedes e la media dei valori determinati dall'analisi sismica in Aedes, si nota una variazione tra i primi due termini inferiore all'1% e nel secondo pari al 21%.

	3muri	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA
				%	%
a PGA- minima	0.83	0.83	0.65	-0.20	21.09

### 6.3.5 Commento alle analisi

Per quanto riguarda le analisi pushover, le differenze riscontrate in fase di analisi evidenziano quanto segue:

- 1) Per il taglio alla base le differenze non sono mai superiori al 40%, in particolare se si considerano solo le ipotesi in Aedes in cui i nodi sono vincolati nel piano si riducono al 15%;
- 2) Per la massa partecipante le differenze sono pari all'11% in x e al 7% in y;
- 3) Per lo spostamento ultimo si evidenziano variazioni massime del 165%;
- 4) Per il valore di q\* le variazioni sono nell'ordine del 40%;
- 5) Per il fattore di partecipazione modale si ha una variabilità del 42% in x e del 9% in y in dipendenza dei diversi modi colti dai programmi già in analisi modale da cui si evidenzia che Aedes ha una forte componente rotazionale che abbassa il valore del fattore di partecipazione da cui dipendono tutti le variabili che determinano la bilineare;
- 6) Per le rigidità si evidenziano forti dipendenze delle variazioni in funzione dell'ipotesi analizzata (delta massimo pari al 95%), in particolare si coglie che i valori minimi di delta si hanno per l'ipotesi due ovvero nodi 2d vincolati nel piano e zone rigide ottenute dalla diffusione a 30° dell'altezza delle aperture adiacenti al maschio murario con valori generalmente non superiori al 15%.
- 7) Per quanto riguarda il valore delle accelerazioni di capacità della struttura si nota una variazione massima del 30% la differenza minima tra i valori determinati dai due programmi si fa nel caso dell'ipotesi 2 ed è inferiore al 13%;
- 8) Gli indici di sicurezza calcolati come rapporto tra le accelerazioni di picco di capacità e domanda, rapporto tra il tempo di ritorno di capacità e domanda elevato allo 0.41 in modo

da poterlo confrontare con il rapporto in termini di accelerazione hanno variazioni massime pari a rispettivamente 28% e del 35% e minime pari a 11% e 13% per l'ipotesi 2.

Si riporta una tabella riassuntiva delle massime variazioni calcolate.

	A,+X	A,-X	E,+X	E-X	A,+Y	A,-Y	E,+Y	E,-Y	Valori massimi
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
m*	11.19				7.25				11.19
Γ	41.51				8.99				41.51
Taglio alla base	35.75	39.20	29.40	27.77	26.26	27.66	12.43	12.95	39.20
d <sub>u</sub> (capacità)	54.00	51.08	69.53	55.06	35.06	32.76	164.44	102.59	164.44
d <sub>max</sub> (domanda)	65.00	62.33	70.22	67.07	77.97	115.02	87.11	112.78	115.02
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>	52.67	54.39	205.29	162.77	38.57	50.46	76.11	13.27	205.29
q*	33.54	31.22	35.76	40.54	36.17	26.95	15.29	16.79	40.54
T*	82.17	90.69	78.08	94.97	55.78	83.15	57.14	72.92	94.97
k*	94.59	78.35	89.47	76.02	74.97	68.74	80.08	65.53	94.59
F <sub>y</sub> *	56.02	51.41	62.26	75.17	22.41	22.88	11.07	10.75	75.17
d <sub>y</sub> *	294.42	328.50	296.74	427.50	78.85	156.90	117.27	157.14	427.50
d <sub>u</sub> *	25.12	23.33	181.07	157.08	33.19	30.83	168.60	105.78	181.07
Energia dissipata	52.45	50.92	282.23	270.31	35.22	44.05	157.91	77.59	282.23

**Comparazione**

	3 muri	Aedes				Differenze			
		HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
α PGA- minima	0.83	1.06	0.92	0.69	0.65	-28.41	-10.84	16.87	21.60
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )	0.56	1.17	0.76	0.38	0.32	-107.98	-35.66	32.42	42.39
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>B</sub> ) <sup>0.41</sup> -minima	0.79	1.07	0.90	0.67	0.63	-35.02	-13.32	14.84	20.24

Le analisi hanno evidenziato che si ottiene un'estrema variabilità di valori indagati. Il valore dell'indice di sicurezza tuttavia presenta una variabilità contenuta in particolare per l'ipotesi 2: ciò è dovuto al modo in cui il metodo N2 opera, ovvero la determinazione dello spettro di capacità risente soprattutto dei valori di rigidezza della bilineare che in definitiva dipende dal taglio massimo ovvero dipende dai valori che hanno dimostrato una minore variabilità.

L'indagine svolta ha evidenziato come le variabili siano fortemente condizionate dalle ipotesi di vincolamento e zone rigide, l'ipotesi che per il caso in esame appare meglio corrispondere all'ipotesi di 3muri è come già ricordato l'ipotesi di Aedes in cui i nodi sono vincolati nel piano e le zone rigide hanno una diffusione a 30°; tale vincolamento appare corrispondere anche alla realtà fisica

evidenziata in fase di rilievo e testimoniata dal comportamento della struttura in occasione dei sismi precedenti: per poter ritenere valida l'analisi si è infatti proceduto alla verifica del valore quantitativo riferendosi alle valutazioni discendenti dal percorso della conoscenza. Solo tale valutazione critica permette di ritenere valida l'analisi computazionale.

Il consolidamento e le analisi di vulnerabilità che lo precorrono non sono un'indagine fine a se stessa ma fanno parte del tema del restauro e ne condividono necessariamente l'impostazione teorica da cui discendono le esigenze di minimo intervento, percorso conoscitivo, e riconoscimento del valore culturale delle operazioni di conservazione.

Per quanto concerne le analisi speditive LV1 si può affermare che colgono univocamente il tipo di vulnerabilità che porta al collasso identificandolo con il collasso per piano soffice del terzo piano in direzione y. Tale criticità si rivela correttamente individuata in quanto le lesioni occorse in occasione del sisma del 2012 sono riconducibili ad una minore efficacia in direzione y della capacità della struttura di resistere al sisma.

Si riporta la tabella comparativa tra i valori determinati per l'analisi pushover e per la valutazione speditiva, la variazione massima è del 44% e del 32% per l'ipotesi 2.

	Aedes- pushover				Aedes LV1				Differenze			
	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
α PGA-minima	1.06	0.92	0.69	0.65	0.60	0.63	0.68	0.71	43.68	31.71	1.63	-9.48

Si riporta infine nella tabella un confronto tra i valori ottenuti dalla pushover in 3muri confrontati con la media dei valori determinati dalle analisi di pushover in Aedes e la media dei valori determinati dall'analisi speditiva in Aedes, si nota una variazione tra i primi due termini inferiore all'1% e nel secondo pari al 21%.

Si può supporre che la scarsa differenza evidenziata tra la media dei valori ottenuti con il programma Aedes ed i valori di 3muri non sia casuale ma possa essere riferita che nella realtà i nodi delle strutture hanno un comportamento intermedio tra quelli assunti come estremi teorici (perfetto vincolamento e nodo libero) e qui indagati.

	3muri	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA
				%	%
α PGA- minima	0.83	0.83	0.65	-0.20	21.09

## 6.4 OSPEDALE REGINA MARGHERITA DI CASTELFRANCO EMILIA- CORPO 04



Figura 29\_Planimetria di inquadramento

L'analisi relativa alla struttura del Corpo 04 dell'"Ospedale "Regina Margherita" di Castelfranco Emilia, sito in Via Andrea Costa n.8, di proprietà dell' Azienda USL di Modena si inserisce all'interno della prosecuzione della campagna di indagine sul patrimonio edilizio esistente allo scopo di valutare la capacità di risposta all'evento sismico degli edifici strategici di proprietà pubblica sul territorio regionale, così come normata dalla Deliberazione della Giunta Regionale 26 luglio 2010 n° 1154 "Istruzioni tecniche per lo svolgimento delle verifiche tecniche di cui all'art. 2, comma 3, dell'OPCM 3274/2003 DEL 20/03/2003" e s.m.i. e del DPCM 12/10/2007 "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni".

### 6.4.1 Descrizione della struttura esistente

Nei successivi paragrafi verranno illustrati i principali aspetti che caratterizzano l'intero complesso sanitario in oggetto, inizialmente si analizzerà la classificazione della zona sismica entro cui ricade il sito in esame, quindi l'analisi scenderà sempre più nel dettaglio fino alla descrizione dell'evoluzione storica e delle peculiarità possedute dai vari corpi fabbrica, con specifico riguardo al Corpo in esame.

#### 1) Localizzazione

Il complesso sanitario in esame è sito nel Comune di Castelfranco Emilia ed risulta registrato al catasto degli edifici occupando le particelle 192, 195, 198, 204, 205, 206, 207, 208, 629, 636, 635 e 637 del foglio 53 Allegato A.

Al fine di determinare lo spettro sismico relativo al caso in esame si riportano i parametri di interesse:

Classe: IV

- 1)  $C_U=2$
- 2)  $V_N=50$  anni
- 3)  $V_R=2*50=100$ anni

Tali parametri portano ad un'accelerazione di picco pari a  $a_g=0.212$  g.

## **2) Descrizione del complesso ospedaliero**

L'Ospedale "Regina Margherita" si trova nelle immediate vicinanze del centro storico di Castelfranco Emilia, sorgendo su di un ampio lotto caratterizzato da una grande area verde. Il confine del lotto sono delimitati a Nord dalla Via Dante Alighieri, a Sud da Corso Martiri, a Ovest da Via Andrea Costa e ad Est da un strada secondari di accesso al complesso sanitario.



Figura 30. Vista del Corpo 04

Pur rimanendo prospicienti a delle arterie principali di viabilità, i servizi sanitari godono di una sufficiente privacy e tranquillità grazie alla posizione arretrata occupata dai vari corpi fabbrica rispetto ai confini del lotto e all'interposizione di fasce verdi alberate lungo tutti i perimetri.

L'intero complesso è costituito da un nucleo centrale costituito dai padiglioni principali dell'ospedale (CORPI 01, 02, 03 e 04), e da diversi piccoli edifici disposti lungo il perimetro del lotto destinati ad ospitare servizi ausiliari all'ospedale.

Per maggior chiarezza ogni corpo è stato univocamente identificato tramite l'assegnazione di un numero, si possono così individuare ben otto corpi caratterizzati dalle seguenti tipologie costruttive:

- 1) CORPO 01: Struttura in muratura portante;
- 2) CORPO 02: Struttura mista in muratura e cemento armato;
- 3) CORPO 03: Struttura in muratura portante;
- 4) CORPO 04: Struttura in muratura portante
- 5) CORPO 05: Struttura in muratura portante;
- 6) CORPO 09: Struttura in muratura portante;
- 7) CORPO 10: Struttura in muratura portante;
- 8) CORPO 11: Struttura in muratura portante;

Sebbene gli edifici appaiono tutti accomunati da una stessa tipologia costruttiva (muratura portante), nei vari corpi si possono osservare anche marcate differenze di altezza irregolarità

planimetriche e/o in elevazione dovute alle diverse età di costruzione con cui si susseguirono i vari ampliamenti e/o ristrutturazioni.

Inoltre, è importante sottolineare che tutte le superfetazioni ed ampliamenti dei padiglioni originali sono stati costruiti in perfetta adiacenza e contiguità, non prevedendo dei giunti o delle separazioni strutturali in grado di disaccoppiare il comportamento dinamico dei vari edifici.

Nell'esecuzione delle verifiche di vulnerabilità sismica occorrerà tener conto che l'intero complesso è stato dichiarato di valore storico-artistico a seguito della verifica di interesse culturale da parte della Regione Emilia-Romagna.

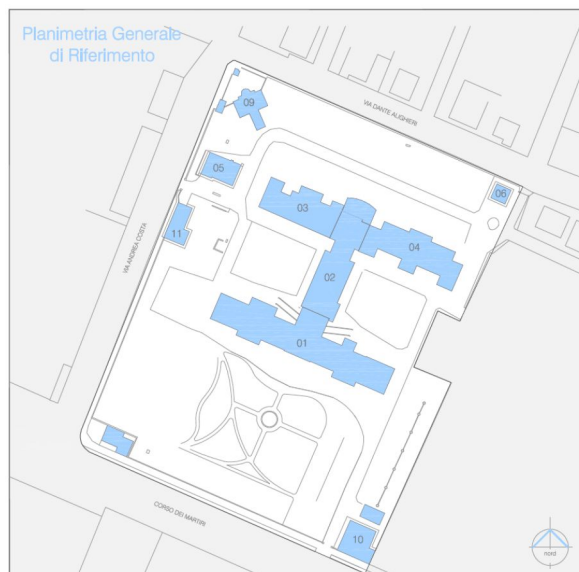


Figura 31. Planimetria di riferimento con individuazione dei diversi blocchi.

L'analisi della documentazione storica reperita si è dimostrata una preziosa ed insostituibile operazione preliminare alla fase di rilievo geometrico e materico vero e proprio delle strutture resistenti. In particolare, dallo studio delle pratiche edili depositate al Comune di Castelfranco Emilia ed all'Ufficio del Genio Civile, è stato possibile ricostruire l'evoluzione storica degli edifici oggetto di indagine. Per esigenze di sintesi e chiarezza espositiva, qui di seguito verranno riportate in tutte le informazioni desunte da ciascuno dei documenti esaminati rispettando l'ordine cronologico di occorrenza, con riferimento unicamente al Corpo in esame

### **1932 Costruzione di due nuovi padiglioni per l'Ospedale Civile "Regina Margherita"**

Nel 1932 l'Ospedale acquistò dei nuovi terreni in vista del suo potenziamento. Furono, infatti, costruiti due nuovi padiglioni destinati rispettivamente al ricovero (CORPO 03) ed all'isolamento (CORPO 04).

### **1967 Ampliamento del Padiglione di Isolamento dell'Ospedale "Regina Margherita"**

Nel 1967, venne presentato in comune il progetto per un nuovo ampliamento. L'intervento riguardò, questa volta il padiglione di Isolamento Malattie Infettive (l'attuale CORPO 4). Il progetto fu curato sempre dall' Ing. Renato Fazzini, il quale predispose la costruzione di un nuovo corpo fabbrica nell'area centrale a nord dell'edificio. Come il padiglione preesistente, la nuova unità strutturale si componeva di due piani fuori terra (rialzato e primo piano) e sarebbe stata realizzata in muratura portante di mattoni pieni.

Per facilitare e fissare più agevolmente la comprensione evoluzione storica del complesso ospedaliero "Regina Margherita" di Castelfranco è stato predisposto un elaborato grafico di sintesi ove vengono illustrate le successive fasi in ordine cronologico, come mostrato nelle figure a seguire.

RICOSTRUZIONE DELL'EVOLUZIONE STORICA DELL'OSPEDALE DI CASTELFRANCO  
OSPEDALE CIVILE "REGINA MARGHERITA"  
(1921-1996)



Figura 32 Ricostruzione dell'Evolutione storica dell'Ospedale di Castelfranco Emilia "Regina Margherita")

RICOSTRUZIONE DELL'EVOLUZIONE STORICA DELL'OSPEDALE DI CASTELFRANCO  
OSPEDALE CIVILE "REGINA MARGHERITA"  
(1997-2007)



Figura 33 Ricostruzione dell'Evolutione storica dell'Ospedale di Castelfranco Emilia "Regina Margherita")

Attualmente, le funzioni ospitate all'interno del complesso distrettuale sono molteplici, data anche la compresenza di strutture ricettive di tipo strettamente sanitario e strutture ricettive di tipo assistenziale, quali ad esempio, il consultorio familiare. Le destinazioni d'uso di ciascun corpo possono essere, così, sinteticamente riassunte:

- 1) CORPO 01: Radiologia, Ambulatori Chirurgici, Studi Medici, Diagnostica per immagini, Degenze Ordinarie, Sale Operatorie, Chiesa, Uffici, Archivi, Magazzini, Dispensa, Locali UTA e Spogliatoi;
- 2) CORPO 02: Attività Ricettive, residenza RSA, Laboratori chimico-clinico e microbiologico, Ambulatori Generici, medico di Guardia, Degenze Ordinarie Centrale Termica, Palestra, Archivi, Locali UTA, Magazzini e Spogliatoi;
- 3) CORPO 03: Locali CUP, Sale di Attesa, Uffici, Ambulatori Generici, Studi Medici, Archivi, Locali UTA;

- 4) CORPO 04: Ambulatori Generici, Dialisi, Elettrostimolazione, Degenze Ordinarie, Magazzini, Locale Gruppo Elettrogeno, Centrale Idrica e Termica, Palestra, Spogliatoi;
- 5) CORPO 05: Servizi tecnologici, Ambienti residenziali, Deposito Sporco, Centrale Idrica e Termica, Cabina Elettrica;
- 6) CORPO 09: Camere Ardenti;
- 7) CORPO 10: Consultorio, sede AVIS, Ambulatori Ostetricia/Ginecologia, Studi Medici, Uffici, Ambulatori Prelievi;
- 8) CORPO 11: Volontari AVPA, Sale Riunioni, Centrale Idrica e Termica;

In base, quindi, alla Delibera della Giunta regionale del 2 Novembre 2009 n. 1661 (DGR n.1661/2009) pubblicata sul BUR n°44 del 12 marzo 2010, tutti gli edifici precedenti sono soggetti alla verifica dei vulnerabilità sismica ad eccezione del CORPI 09 e 10, dove non vengono ospitate funzioni strategiche.

### 3) Individuazione del blocco strutturale

Il corpo strutturale oggetto della presente relazione rappresenta l'antico padiglione di isolamento dell'Ospedale Civile. Come mostrato in figura 4, esso presenta il fronte principale rivolto verso Via Dante Alighieri.

Come precedentemente anticipato, nel corpo vengono attualmente ospitate le seguenti funzioni:

- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1) Ambulatori Generici; | 6) Locale Gruppo Elettrogeno; |
| 2) Dialisi;             | 7) Centrale Idrica e Termica; |
| 3) Elettrostimolazione; | 8) Palestra;                  |
| 4) Degenze Ordinarie;   | 9) Spogliatoi;                |
| 5) Magazzini;           |                               |

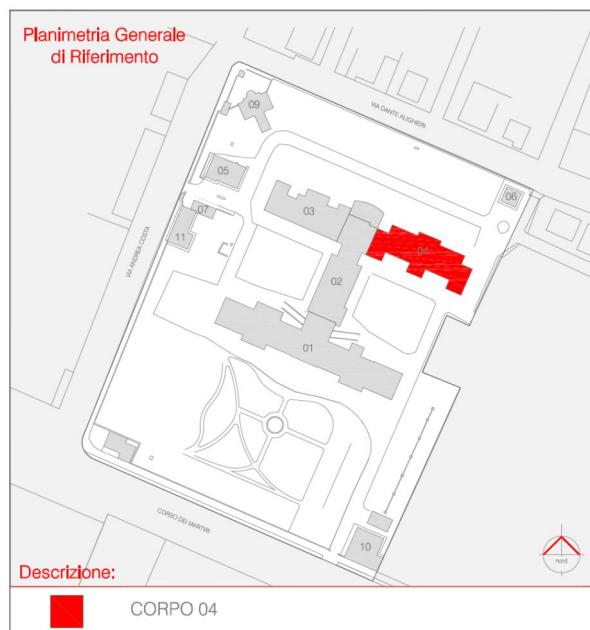


Figura 34. Planimetria di riferimento con individuazione del corpo in esame.

Il corpo 04 è stato collegato nel 1970 al corpo 02 costruito in perfetta adiacenza e continuità ad esso. Non è stata prevista perciò l'introduzione di nessun giunto strutturale in grado di disaccoppiare il comportamento dinamico delle varie unità. Le varie unità strutturali risultano così strettamente connesse e collegate fra loro.

#### 4) Descrizione del corpo strutturale

Si sono svolte indagini atte all'individuazione del sistema strutturale dell'edificio, punto di partenza per la definizione della metodologia da adottare per l'esecuzione delle verifiche tecniche.

In particolare si sono svolti:

- 1) Esame della documentazione disponibile mediante ricerche bibliografiche presso gli archivi dell'Azienda USL, del Comune di Mirandola, del Genio Civile; dell'Archivio di Stato;
- 2) Sopralluogo preliminare per constatare lo stato dei luoghi;
- 3) Analisi volte all'individuazione della tipologia strutturale originaria ed alla definizione dei successivi interventi;
- 4) Analisi volte all'individuazione delle vulnerabilità non quantificabili numericamente.

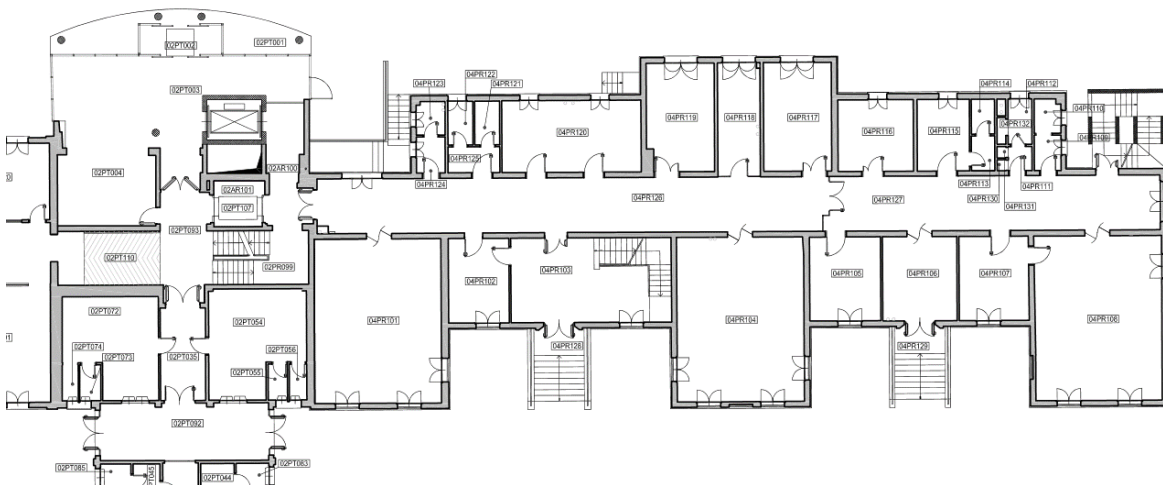


Figura 35\_Planimetria piano rialzato Corpo 04, Ospedale di Castelfranco Emilia

Dagli studi e dalle indagini svolte, è stato possibile stabilire che il corpo presenta una struttura portante in muratura di mattoni pieni. Non sono state però reperite ulteriori informazioni documentali circa le caratteristiche strutturali dell'edificio.

Come precedentemente anticipato, i risultati della verifica d'interesse culturale svolta dalla Regione Emili-Romagna hanno portato a dichiarare l'edificio di storico-artistico dell'edificio e pertanto sottoposto alle relativa normativa di tutela.

Risulta importante sottolineare come sia completamente assente tutta la documentazione relativa alla progettazione strutturale dell'edificio. Gli unici documenti attualmente a disposizione risultano, pertanto, degli elaborati grafici architettonici presenti nelle pratiche 178C/1967-0, 34A/1985-0 e 91D/1999-0.

### **5) Sopralluoghi preliminari**

Al fine di acquisire la conoscenza preliminare dell'edificio in esame e svolgere una prima valutazione circa la corrispondenza tra la documentazione reperita e la struttura reale, sono stati effettuati diversi sopralluoghi durante i quali si sono svolte verifiche a campione. Sebbene non sia stato possibile effettuare una dettagliata e rigorosa ricognizione a causa dell'impossibilità di interrompere l'attività di assistenza o sanitaria in atto in ciascun locale, i risultati emersi dalle prime verifiche evidenziano come sussistano delle discordanze tra gli elaborati grafici (rilievi) in possesso e lo stato effettivo dei luoghi. In particolare, si evidenziano le difformità relative a:

- 1) Posizionamento dei vani di apertura presenti;
- 2) Spessori delle pareti murarie;
- 3) Posizione e dimensioni degli elementi in c.a.;

In occasione di una successiva fase sono stati eseguiti nuovi rilievi ad integrazione e correzione dei precedenti disponibili ai quali si è fatto riferimento in occasione della valutazione della vulnerabilità sismica.

Al momento attuale non è stato possibile individuare tutte le tipologie dei solai a causa della presenza di controsoffittature in numerosi locali, tale lacuna verrà colmata nell'imminente fase di effettuazioni di ulteriori rilievi e saggi volti alla definizione di un migliore livello di conoscenza della struttura.

### **6) Analisi storico- critica**

A sintesi delle informazioni già copiosamente fornite nei paragrafi precedenti, vengono di seguito riepilogati i momenti fondamentali nell'evoluzione storica dell'edificio in esame:

- 1) 1932 Costruzione del padiglione di isolamento dell'Ospedale Civile "Regina Margherita";
- 2) 1967 Ampliamento del Padiglione di Isolamento dell'Ospedale Civile "Regina Margherita";
- 3) 1970 Costruzione del padiglione di collegamento tra gli edifici esistenti (CORPO 02);
- 4) 1991 Esecuzione di Opere Interne ai CORPO 01,02 03 e 04 dell'Ospedale;
- 5) 1999 Opere interne per l'adeguamento delle uscite di sicurezza dell'Ospedale.

### **7) Vulnerabilità non valutabili analiticamente**

Alcuni sopralluoghi preliminari, unitamente all'esame della documentazione disponibile sullo stato attuale e sull'evoluzione storica del complesso edilizio, hanno consentito la formulazione di un quadro generale del funzionamento strutturale e dei suoi aspetti "sensibili", meritevoli di particolare attenzione, nonché della definizione delle unità strutturali che formano l'aggregato e la qualificazione delle loro possibili interazioni.

E', pertanto, possibile segnalare alcuni fattori di vulnerabilità non valutabili analiticamente, come ad esempio l'a giustapposizione nel 1967 di un'unità strutturale in perfetta aderenza alle strutture preesistenti senza di l'interposizione di adeguati giunti strutturali

I primi sopralluoghi effettuati portano, però, ad escludere la presenza di imminenti vulnerabilità “non quantificabili”, tale giudizio verrà riformulato a seguito delle fasi di integrazioni dei rilievi esistenti e dei saggi di imminente realizzazione. A titolo esemplificativo e non esaustivo, alcuni fattori di vulnerabilità su cui porre particolare attenzione durante la fase di rilievo saranno:

- 1) Vulnerabilità dovute ad elementi strutturali:
  - a. Fatiscenza o degrado di singoli elementi o di collegamenti;
  - b. Lesioni e/o dissesti;
  - c. Cattiva esecuzione o concezione progettuale errata;
- 2) Vulnerabilità connesse ad elementi non strutturali:
  - a. Camini e canne fumarie;
  - b. Controsoffitti;
  - c. Infissi e Vetrate;
  - d. Elementi pesanti appesi (lampade, impianti, insegne, ...)
- 3) Vulnerabilità funzione della geometria della struttura:
  - a. Muri e/o pilastri in falso;
  - b. Piani sfalsati;
  - c. Disassamenti;
  - d. Volte non contrastate;
  - e. Scale realizzate tramite gradini a mensola, incastrati solo da un lato;
  - f. Commistione di strutture portanti realizzate con tipologie diverse di tecnologie e/o di materiali.

## **8) Livello di conoscenza**

Il livello di conoscenza è stato definito, di concerto con la Committenza, in funzione delle informazioni disponibili ed in riferimento alle prescrizioni normative vigenti (cap. C8A Circolare esplicativa n°617). In particolare, in considerazione dei seguenti fattori, ovvero:

- 1) Il non trascurabile impegno economico necessario per il raggiungimento del livello di conoscenza LC2 (data la necessità di “verifiche in situ estese ed esaustive” per la definizione dei particolari costruttivi e l'esecuzione di un determinato numero di prove finalizzate alla caratterizzazione dei materiali);
- 2) La possibilità fornita dalla normativa di impiegare tutti i metodi di analisi indipendentemente dal livello di conoscenza;

in prima istanza si è deciso di limitarsi ad un livello di conoscenza LC1, è tuttavia emersa la necessità di effettuare integrazioni dei rilievi presenti al fine di definire chiaramente le tipologie e la disposizione delle strutture resistenti sia verticali che orizzontali e l'esecuzione di saggi atti a definire la tecnologia costruttiva con cui sono stati realizzati i solai, determinandone gli elementi resistenti principali e secondari, gli spessori caratteristici di ciascun elementi, l'eventuale presenza di armature e quant'altro.

Per le strutture resistenti in muratura portante si prevedono, inoltre, saggi sulle murature per definire in modo compiuto la composizione ed il collegamento con gli elementi in c.a. attigui con particolare riferimento ai vani scala e ascensore e ai tamponamenti esterni; esecuzione di sondaggi visivi sulle murature mediante rimozione di intonaci per una superficie pari a 100x100 cm. Tali sondaggi permetteranno di valutare la tessitura e la variabilità del pattern utilizzato nella costruzione delle murature; caratterizzazione delle murature tramite martinetti doppi; prove di compressione e di trazione per taglio su elementi in laterizio; prove penetrometriche su giunti di malta;

Per le strutture di fondazione si esclude, al momento, la realizzazione di saggi relativi alle opere di fondazione ed al terreno, poiché non sono stati rilevati significativi dissesti attribuibili a cedimenti in fondazione; si è ritenuto di valutare come sufficienti le informazioni reperite dalle indagini geologiche-geotecniche già svolte.

### **9) Indicazione di saggi ed indagini per la valutazione di elementi non strutturali**

Nel documento di riferimento per l'elaborazione delle raccomandazioni sul controventamento e l'ancoraggio dei componenti non strutturali degli ospedali italiani ATC-51-2 redatto in collaborazione con l'Applied Technology Council, vengono definite chiaramente le componenti non strutturali che richiedono una valutazione sismica o un ancoraggio capace di resistere alle sollecitazioni indotte dai terremoti di progetto. Gli elementi oggetto di interesse dipendono sia dal tipo di componente o di sistema analizzato che dalla zona sismica in cui si trova l'ospedale. Così per gli ospedali o le strutture sanitarie ricadenti nella zona sismica 3, dovrà essere posta particolare attenzione ai seguenti componenti:

- 1) Gas per uso medico: come i serbatoi di ossigeno e le bombole di azoto;
- 2) Impianto elettrico d'emergenza: come batterie per la corrente elettrica d'emergenza; i generatori elettrici d'emergenza e le batterie per i generatori di corrente elettrica d'emergenza;
- 3) Apparecchiatura per la comunicazione: come Computers e schermi nei "call centers" d'emergenza ed armadietti non ancorati che contengono apparecchiature telefoniche per i "calls centers" d'emergenza;
- 4) Aree di stoccaggio delle sostanze pericolose: in particolare, le tamponature ed altri componenti che delimitano aree con materiale biologico od infettivo ed locali di stoccaggio o uso di materiale pericoloso di tipo chimico, nucleare o biologico.

La decisione di valutare la vulnerabilità sismica di tali elementi è, tuttavia, subordinata agli esiti delle verifiche condotte sulla struttura portante dell'edificio. Come viene chiarito nel paragrafo 3.2.2 Ospedali Esistenti dell'ATC-51-2 sarebbe, infatti, un controsenso studiare la capacità resistente dei componenti non strutturali di un ospedale per una data intensità di moto sismico, se per quella stessa intensità è atteso un serio danneggiamento della struttura. La seguente tabella mostra, pertanto, tutte le possibili combinazioni dei livelli prestazionali strutturali e non strutturali tra loro compatibili:

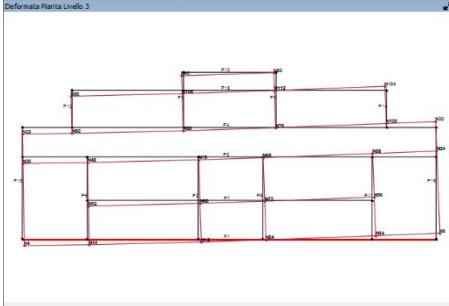
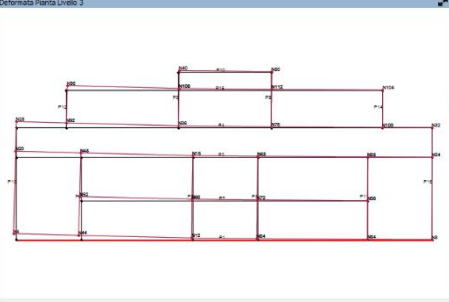
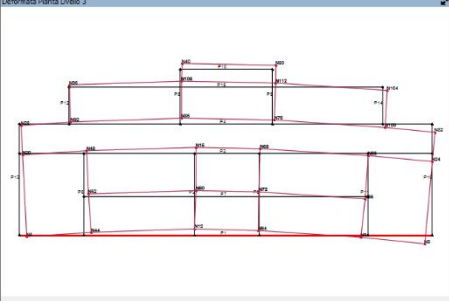
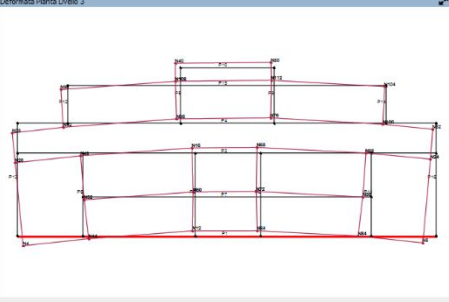
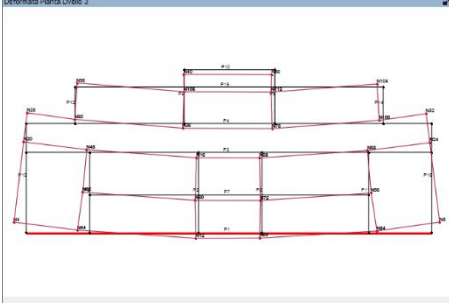
Livelli di prestazione non strutturale	Livelli di prestazione strutturale			
	Occupazione immediata	Controllo dei danni	Prevenzione del crollo	Non considerato
Operativo		Non raccomandato	Non raccomandato	Non raccomandato
Interruzione minima			Non raccomandato	Non raccomandato
Riduzione selettiva del rischio				
Non considerato	Non raccomandato			

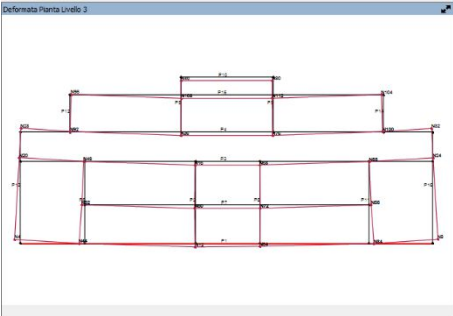
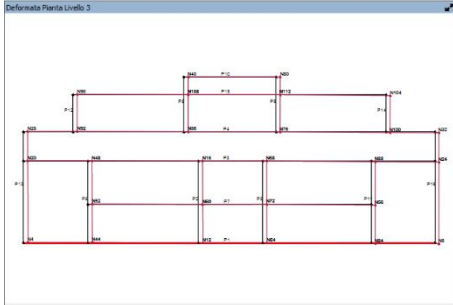
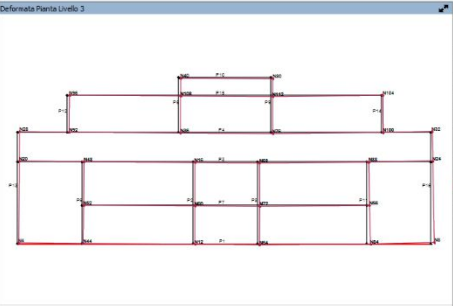
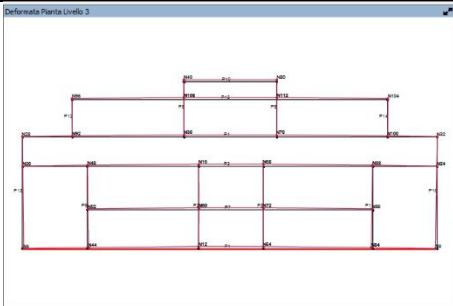
Tabella 16. Combinazioni Possibili di Livelli di Prestazione Strutturale e non Strutturale (Rappresentati Oscurati)

### 6.4.2 Analisi modale

#### 1) 3muri

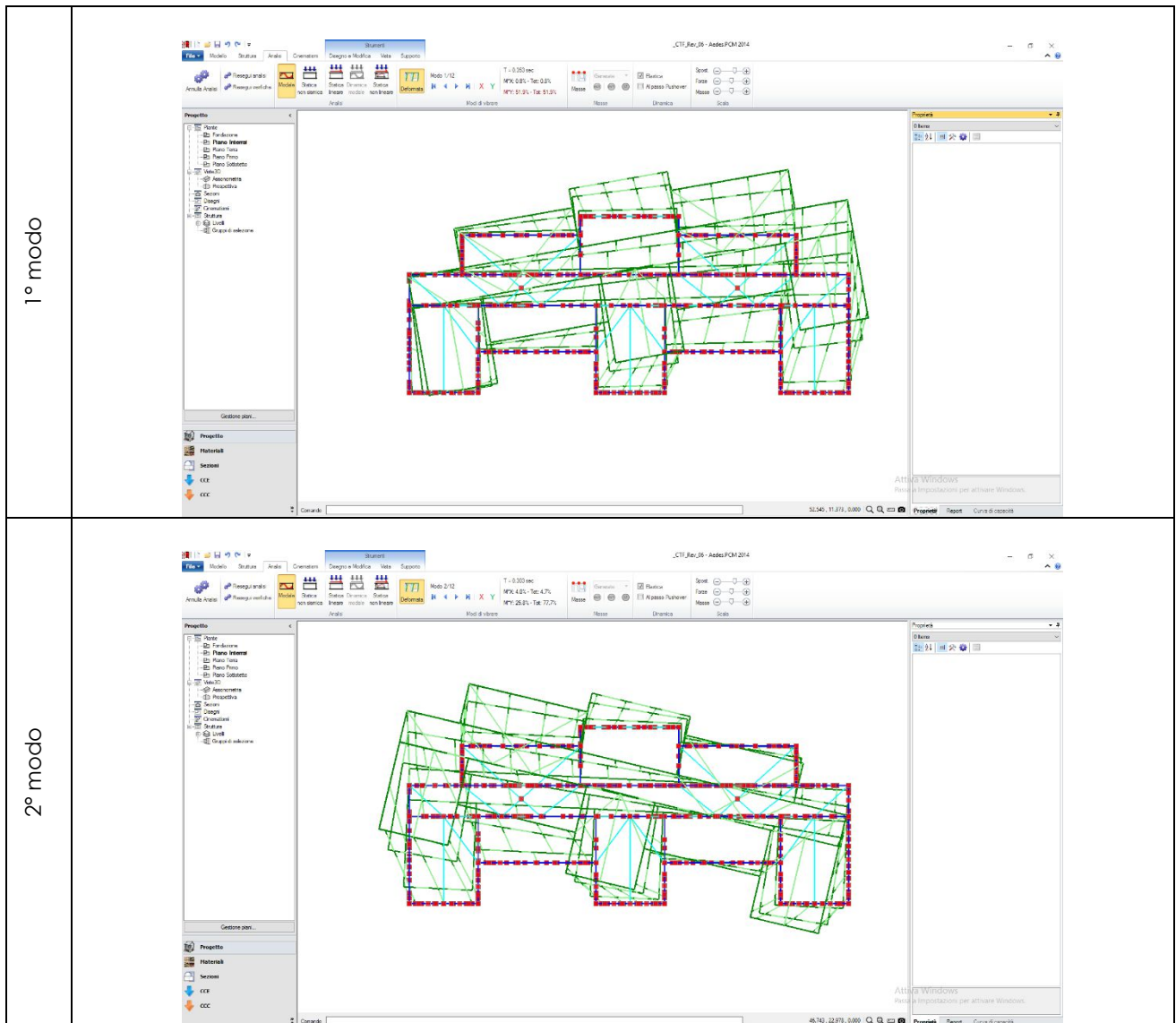
1° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.41194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,987,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,096</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,364</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
2° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.41194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,987,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,096</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,364</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
3° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.41194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,987,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,096</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,364</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
4° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.41194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,987,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,096</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,364</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.41194	16,062	0.52	1,987,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,096	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,364	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											

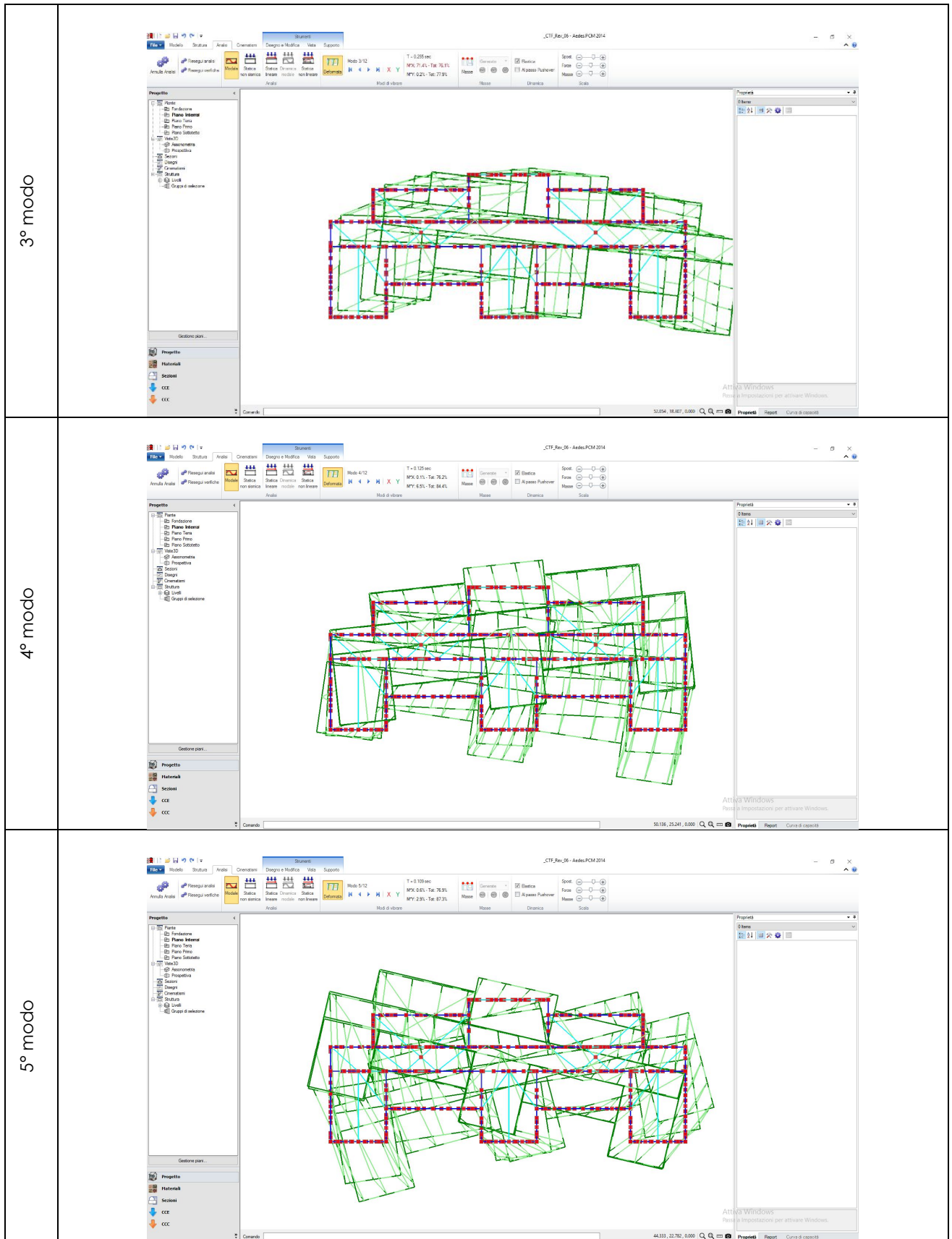
5° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th><math>\Delta</math> [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12242</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>36,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
6° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th><math>\Delta</math> [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12242</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>36,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
7° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th><math>\Delta</math> [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12242</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>36,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
8° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th><math>\Delta</math> [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12242</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>36,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
9° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th><math>\Delta</math> [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.35027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12242</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>36,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,253</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	$\Delta$ [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.35027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12242	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	36,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,253	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											

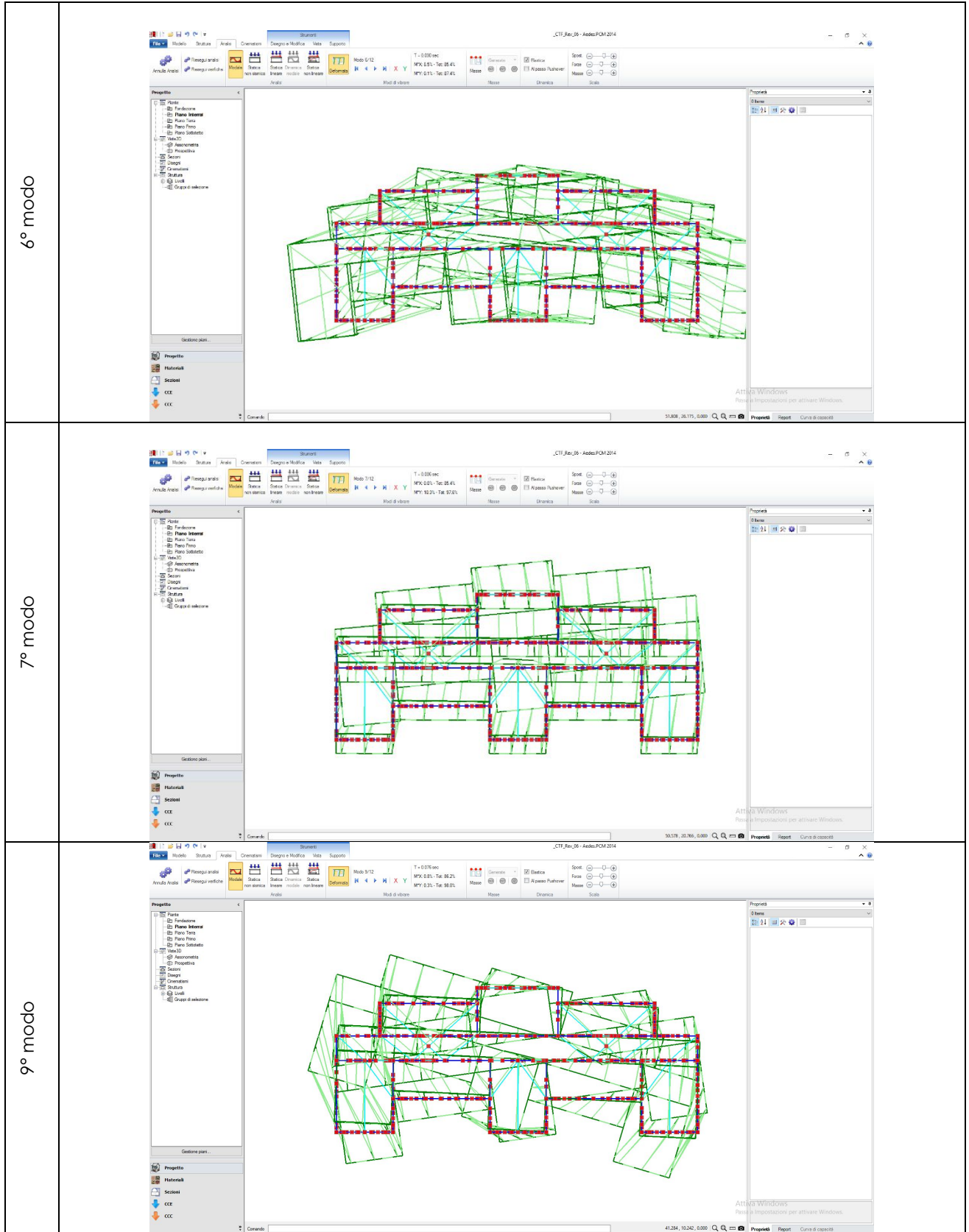
10° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>m<sub>x</sub> [kg]</th> <th>M<sub>x</sub> [%]</th> <th>m<sub>y</sub> [kg]</th> <th>M<sub>y</sub> [%]</th> <th>m<sub>z</sub> [kg]</th> <th>M<sub>z</sub> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.39027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,233</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
11° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>m<sub>x</sub> [kg]</th> <th>M<sub>x</sub> [%]</th> <th>m<sub>y</sub> [kg]</th> <th>M<sub>y</sub> [%]</th> <th>m<sub>z</sub> [kg]</th> <th>M<sub>z</sub> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.39027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,233</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
12° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>m<sub>x</sub> [kg]</th> <th>M<sub>x</sub> [%]</th> <th>m<sub>y</sub> [kg]</th> <th>M<sub>y</sub> [%]</th> <th>m<sub>z</sub> [kg]</th> <th>M<sub>z</sub> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.39027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,233</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											
15° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>m<sub>x</sub> [kg]</th> <th>M<sub>x</sub> [%]</th> <th>m<sub>y</sub> [kg]</th> <th>M<sub>y</sub> [%]</th> <th>m<sub>z</sub> [kg]</th> <th>M<sub>z</sub> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.43194</td><td>16,062</td><td>0.52</td><td>1,587,054</td><td>51.58</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.39027</td><td>83,794</td><td>2.72</td><td>719,754</td><td>23.39</td><td>368</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.25126</td><td>2,240,738</td><td>72.82</td><td>3,647</td><td>0.12</td><td>41</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.14151</td><td>2,700</td><td>0.09</td><td>286,696</td><td>9.32</td><td>1,754</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.12342</td><td>15,162</td><td>0.49</td><td>63,797</td><td>2.07</td><td>70,586</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.11680</td><td>12,445</td><td>0.40</td><td>16,397</td><td>0.53</td><td>127,201</td><td>4.13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09853</td><td>40,426</td><td>1.31</td><td>5,150</td><td>0.17</td><td>225,382</td><td>7.32</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.09333</td><td>130,564</td><td>4.24</td><td>126</td><td>0.00</td><td>168,313</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.09108</td><td>27,116</td><td>0.88</td><td>1,531</td><td>0.05</td><td>116,233</td><td>3.78</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.08705</td><td>88</td><td>0.00</td><td>311</td><td>0.01</td><td>261,746</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.08574</td><td>53,700</td><td>1.75</td><td>44</td><td>0.00</td><td>115,515</td><td>3.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.08478</td><td>17,609</td><td>0.57</td><td>451</td><td>0.01</td><td>107,124</td><td>3.48</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.08441</td><td>6,046</td><td>0.20</td><td>3,743</td><td>0.12</td><td>16,940</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.08330</td><td>1,533</td><td>0.05</td><td>218</td><td>0.01</td><td>6,813</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.08188</td><td>461</td><td>0.01</td><td>324,066</td><td>10.53</td><td>95,276</td><td>3.10</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]	1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00	2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01	3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00	4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06	5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29	6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13	7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32	8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47	9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78	10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51	11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75	12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48	13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55	14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22	15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10
Modo	T [s]	m <sub>x</sub> [kg]	M <sub>x</sub> [%]	m <sub>y</sub> [kg]	M <sub>y</sub> [%]	m <sub>z</sub> [kg]	M <sub>z</sub> [%]																																																																																																																											
1	0.43194	16,062	0.52	1,587,054	51.58	0	0.00																																																																																																																											
2	0.39027	83,794	2.72	719,754	23.39	368	0.01																																																																																																																											
3	0.25126	2,240,738	72.82	3,647	0.12	41	0.00																																																																																																																											
4	0.14151	2,700	0.09	286,696	9.32	1,754	0.06																																																																																																																											
5	0.12342	15,162	0.49	63,797	2.07	70,586	2.29																																																																																																																											
6	0.11680	12,445	0.40	16,397	0.53	127,201	4.13																																																																																																																											
7	0.09853	40,426	1.31	5,150	0.17	225,382	7.32																																																																																																																											
8	0.09333	130,564	4.24	126	0.00	168,313	5.47																																																																																																																											
9	0.09108	27,116	0.88	1,531	0.05	116,233	3.78																																																																																																																											
10	0.08705	88	0.00	311	0.01	261,746	8.51																																																																																																																											
11	0.08574	53,700	1.75	44	0.00	115,515	3.75																																																																																																																											
12	0.08478	17,609	0.57	451	0.01	107,124	3.48																																																																																																																											
13	0.08441	6,046	0.20	3,743	0.12	16,940	0.55																																																																																																																											
14	0.08330	1,533	0.05	218	0.01	6,813	0.22																																																																																																																											
15	0.08188	461	0.01	324,066	10.53	95,276	3.10																																																																																																																											

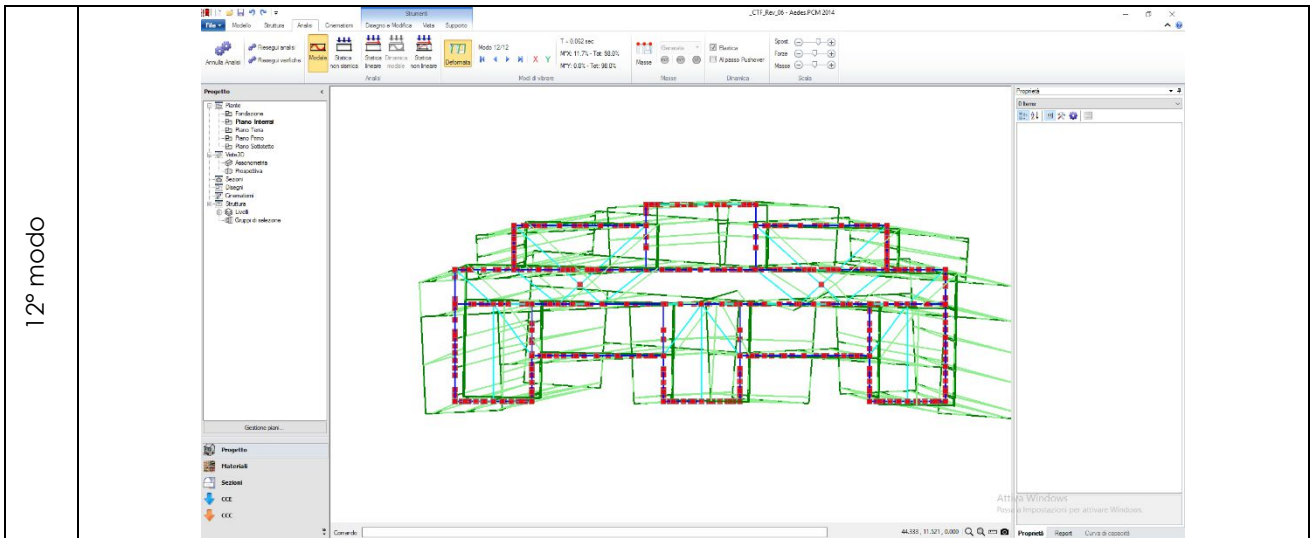
## 2) Aedes PCM

Si riporta l'analisi modale eseguita per l'ipotesi di modellazione che presenta i nodi 2d vincolati a spostarsi nel piano e zone rigide determinate dalla diffusione a 30° dell'altezza delle aperture adiacenti, non si rilevano tuttavia tra le diverse modellazioni differenze per quanto riguarda i modi di vibrare, i periodi e le masse partecipanti ai singoli modi.









### 3) Comparazione analisi modale

Si riportano i valori ottenuti per le analisi svolte ed il loro confronto.

3 muri							
Modo	T [s]	Mx [daN]	[%]	My [daN]	[%]	Mz [daN]	[%]
1	0.43194			1587054.00	51.58		
2	0.35027	83794.00	2.72	719754.00	23.39		
3	0.25126	2240738.00	72.82				
4	0.14151			286696.00	9.32		
5	0.12342			63797.00	2.07	70586.00	2.29
6	0.11680					127201.00	4.13
7	0.09853	40426.00	1.31			255382.00	7.32
8	0.09333	130564.00	4.24			168313.00	5.47
9	0.09108					327693.00	3.78
10	0.08705					261746.00	8.51
11	0.08574	53700.00	1.75			115515.00	3.75
12	0.08478					107124.00	3.48
15	0.08188			324066.00	10.53	95276.00	3.10
			82.84		96.89		41.83

## Aedes

	T	Mx	My
Modo	[s]	[%]	[%]
1	0.353	0.80	51.90
2	0.303	4.00	25.80
3	0.255	71.40	0.20
4	0.125	0.10	6.50
5	0.109	0.60	2.90
6	0.090	8.50	0.10
7	0.086		10.30
9	0.076	0.80	0.30
12	0.062	11.70	
		97.90	98.00

## Differenze

	T- 3muri	T- Aedes	$\Delta T$	$\Delta T \%$
Modo	[s]	[s]	[s]	[%]
1	0.43194	0.35300	0.08	18.28
2	0.35027	0.30300	0.05	13.50
3	0.25126	0.25500	0.00	-1.49
4	0.14151	0.12500	0.02	11.67
5	0.12342	0.10900	0.01	11.68
6	0.11680	0.09000	0.03	22.95
7	0.09853	0.08600	0.01	12.72
8	0.09333	0.07600	0.02	18.57
9	0.09108	0.06200	0.03	31.93
10	0.08705		0.09	100.00
11	0.08574		0.09	100.00
12	0.08478		0.08	100.00
13	0.08188		0.08	100.00

In prima istanza l'analisi modale evidenzia un buon accordo sulla forma dei modi. Non altrettanto si può dire dei valori del periodo proprio che risultano, in generale, inferiori in Aedes, assumendo variazioni massime pari al 32%.

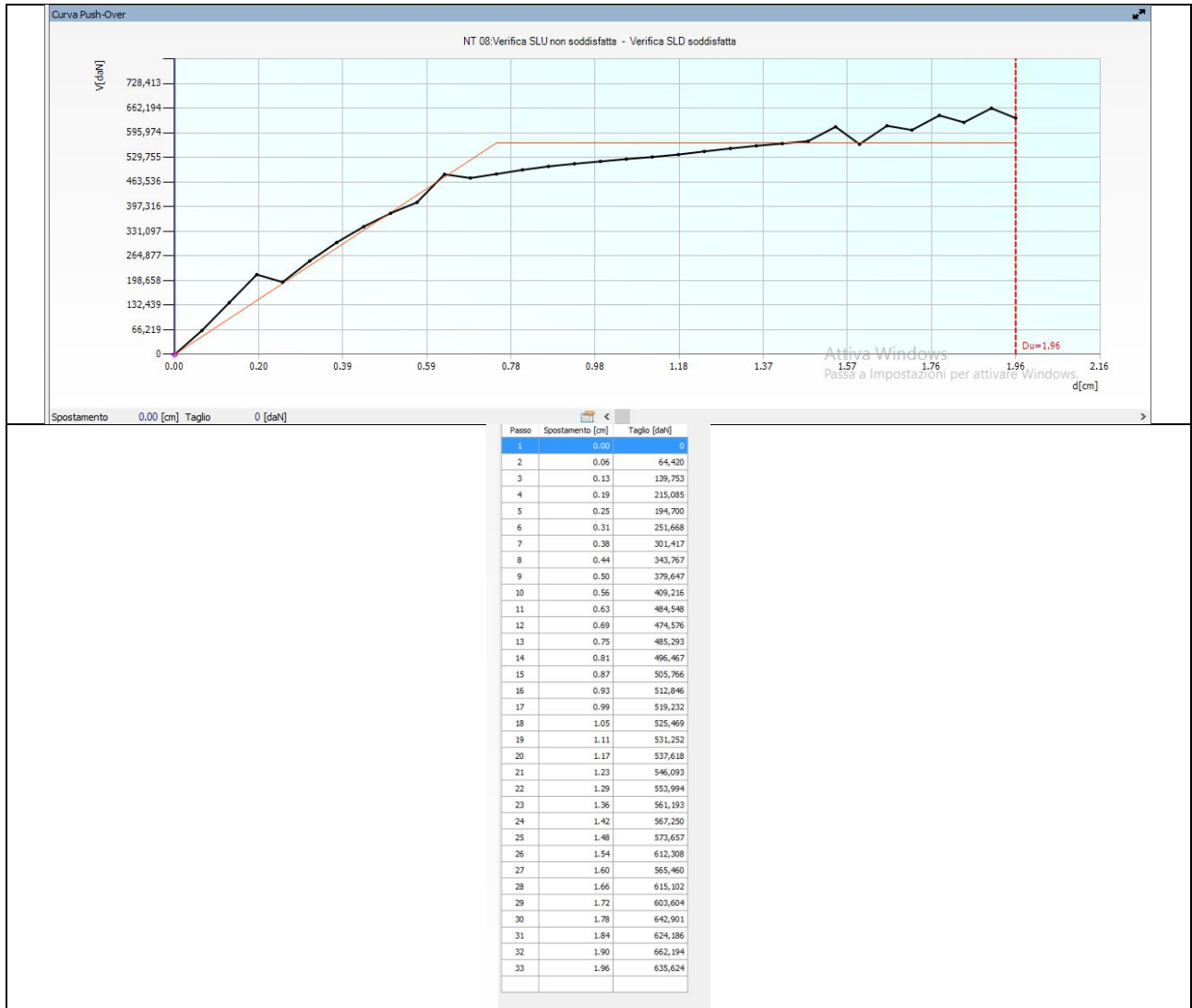
### 6.4.3 Analisi pushover

#### 1) Distribuzione proporzionale alle forze statiche

##### a. Analisi pushover in direzione +x

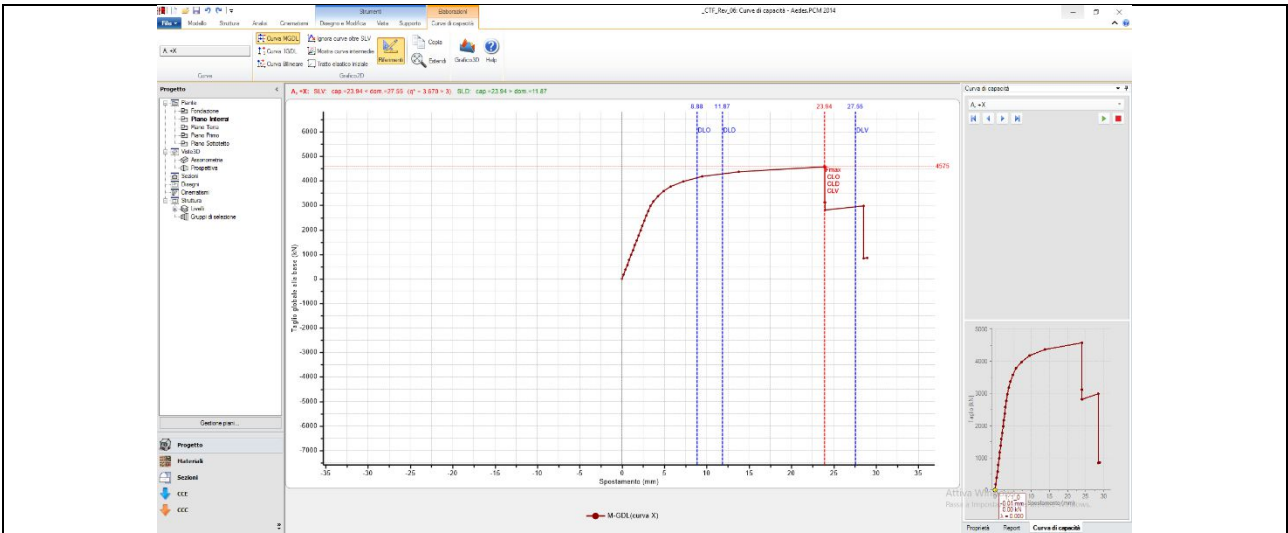
Nel seguito si riporta la sequenza di danneggiamento della struttura per sisma in direzione +x.

##### i. 3muri

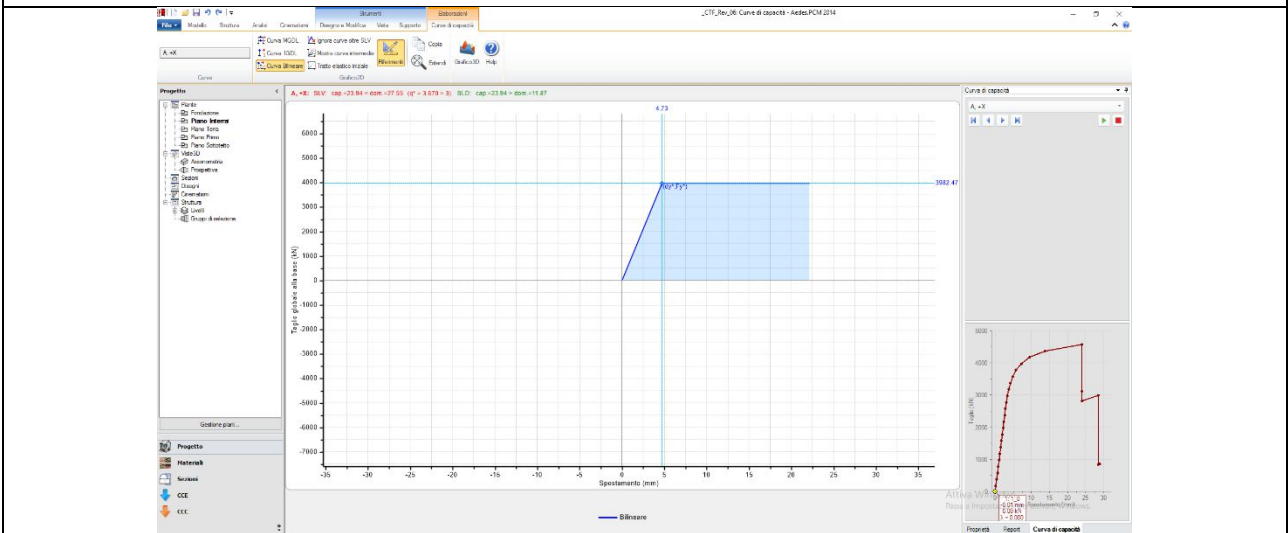


**ii. Aedes**

- 1) Si è scelto di riportare i valori ottenuti per l'ipotesi di nodi non vincolati a muoversi nel proprio piano di appartenenza ed una definizione delle zone rigide a determinate all'intersezione tra le fasce ed i maschi in quanto si è ritenuto essere quella che più si avvicina alla modellazione ottenuta tramite 3muri in termini di rigidità della bilineare che schematizza la curva di pushover.



Aedes 4-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

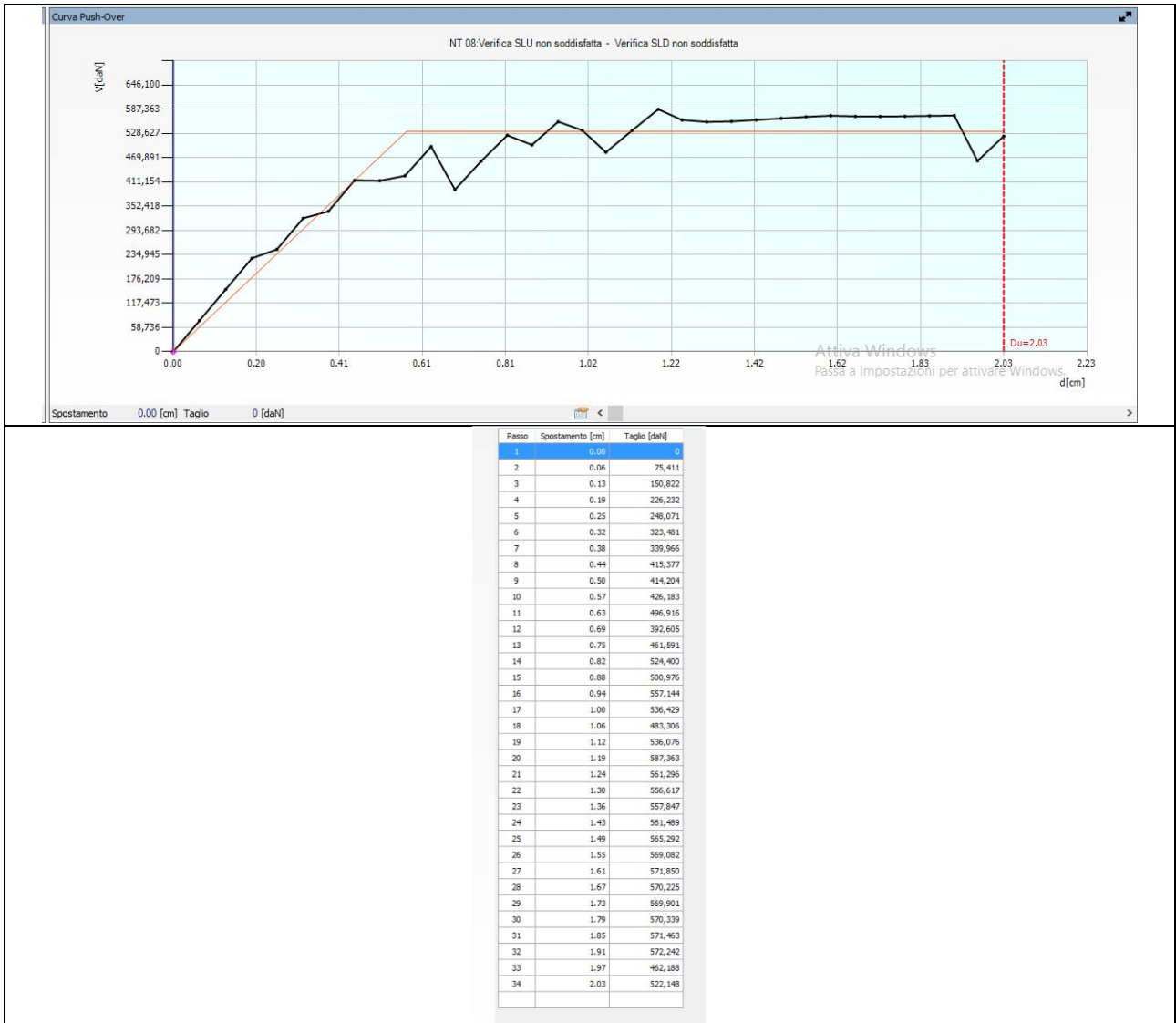


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

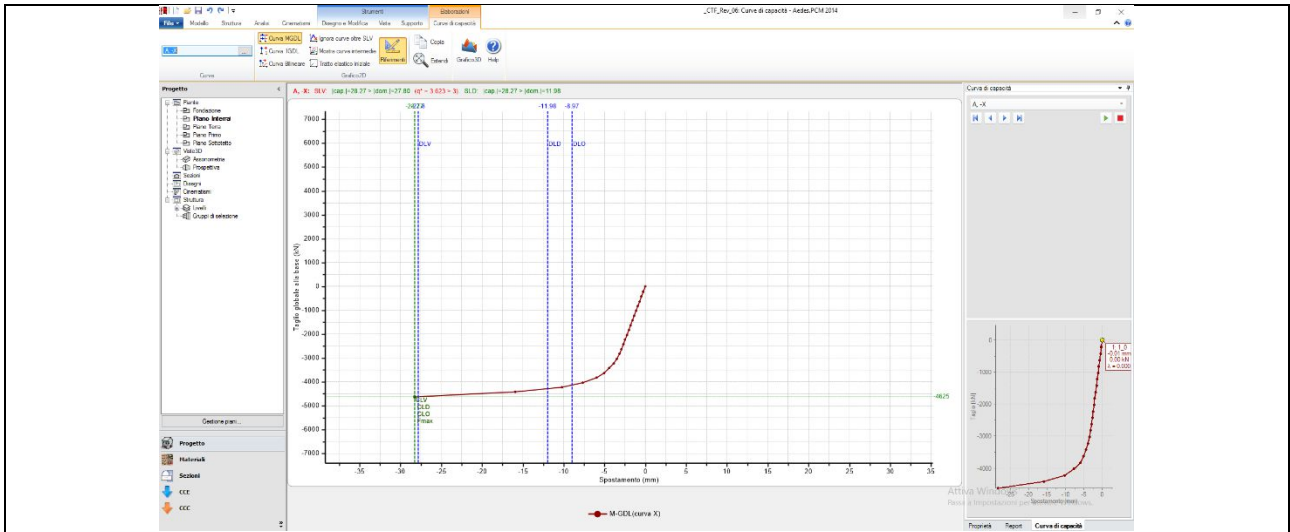
**b. Analisi pushover in direzione -x**

Nel seguito si riporta la sequenza di danneggiamento della struttura per sisma in direzione -x.

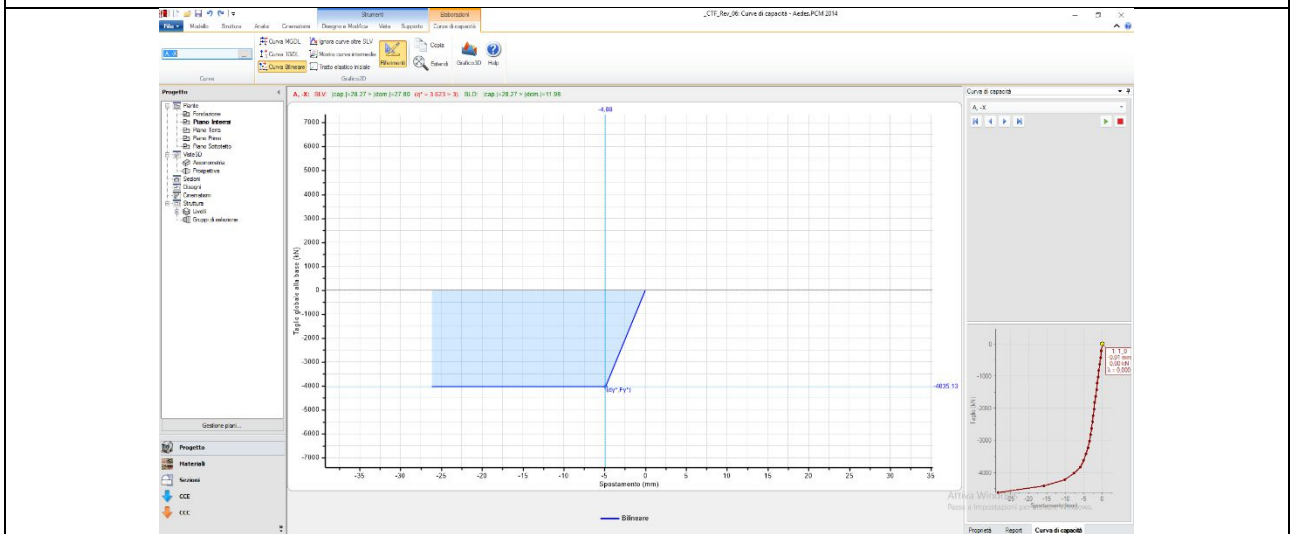
**i. 3muri**



ii. Aedes

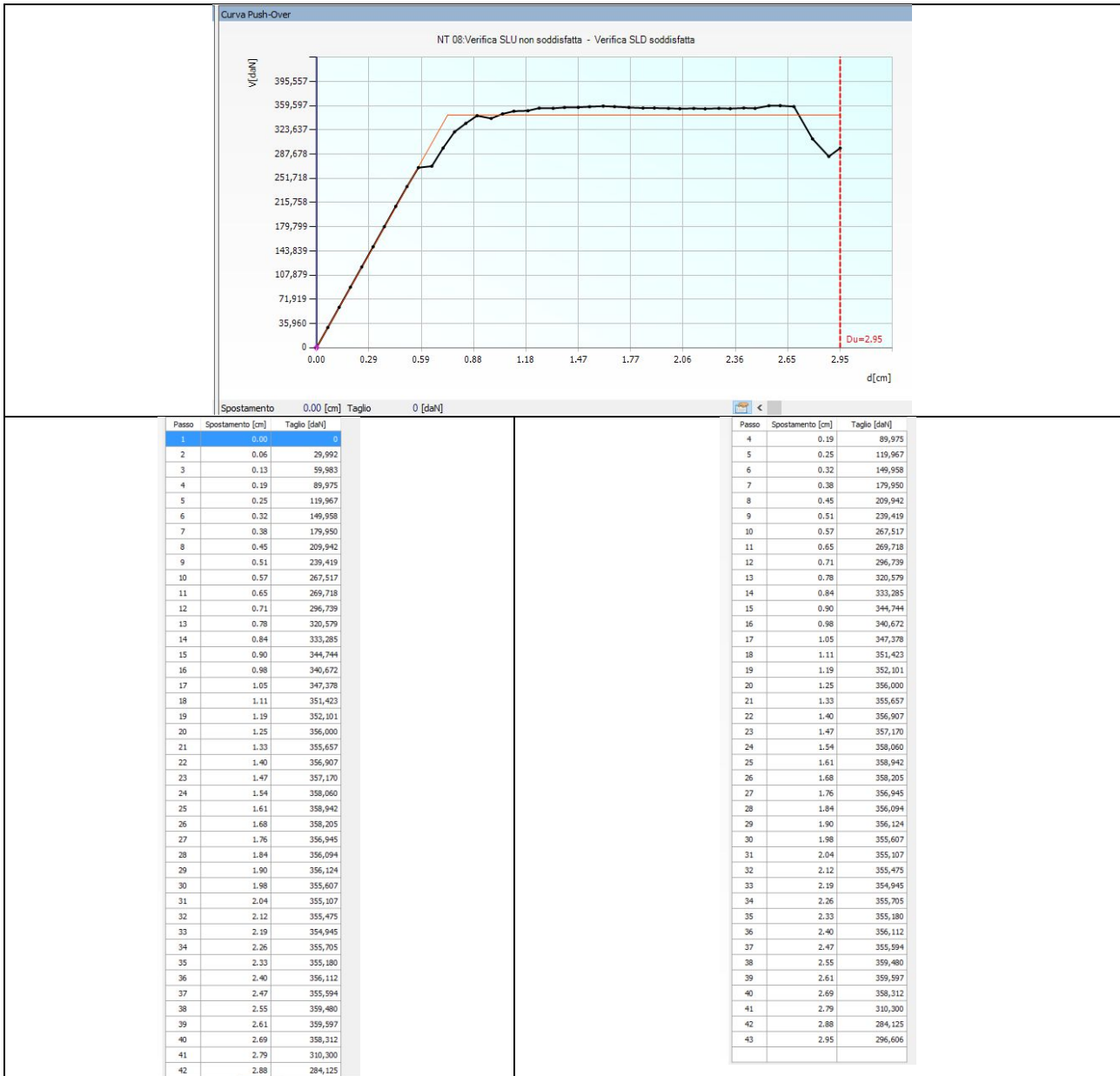


Aedes 4-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

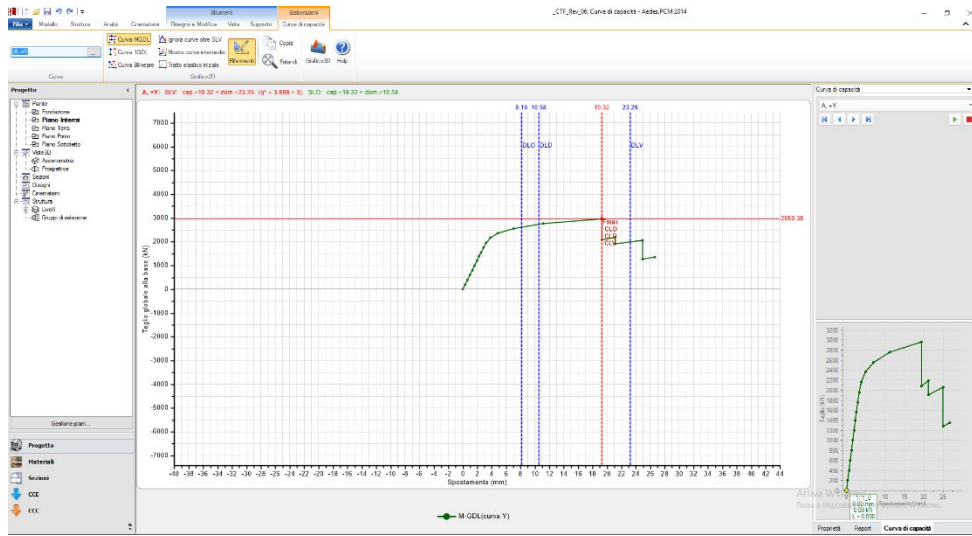


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

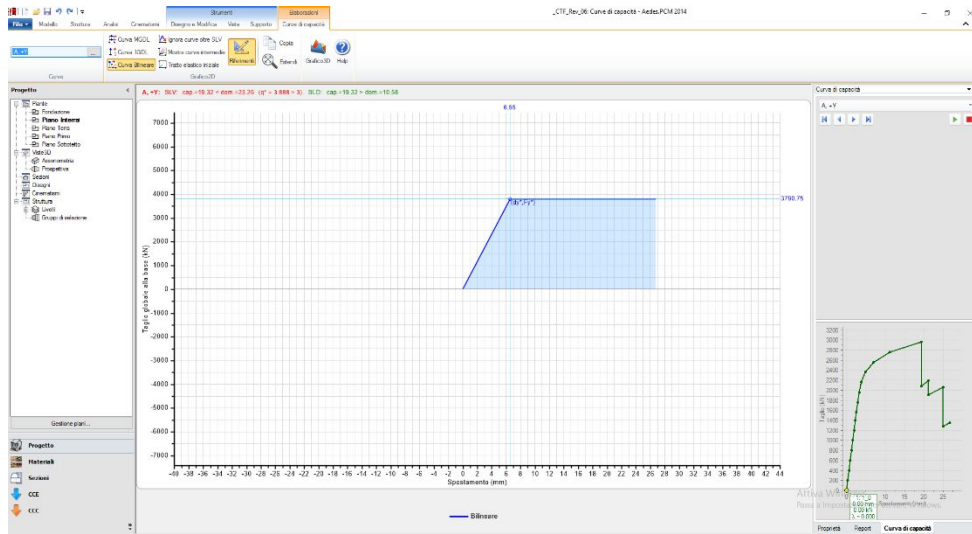
**c. Analisi pushover in direzione +y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

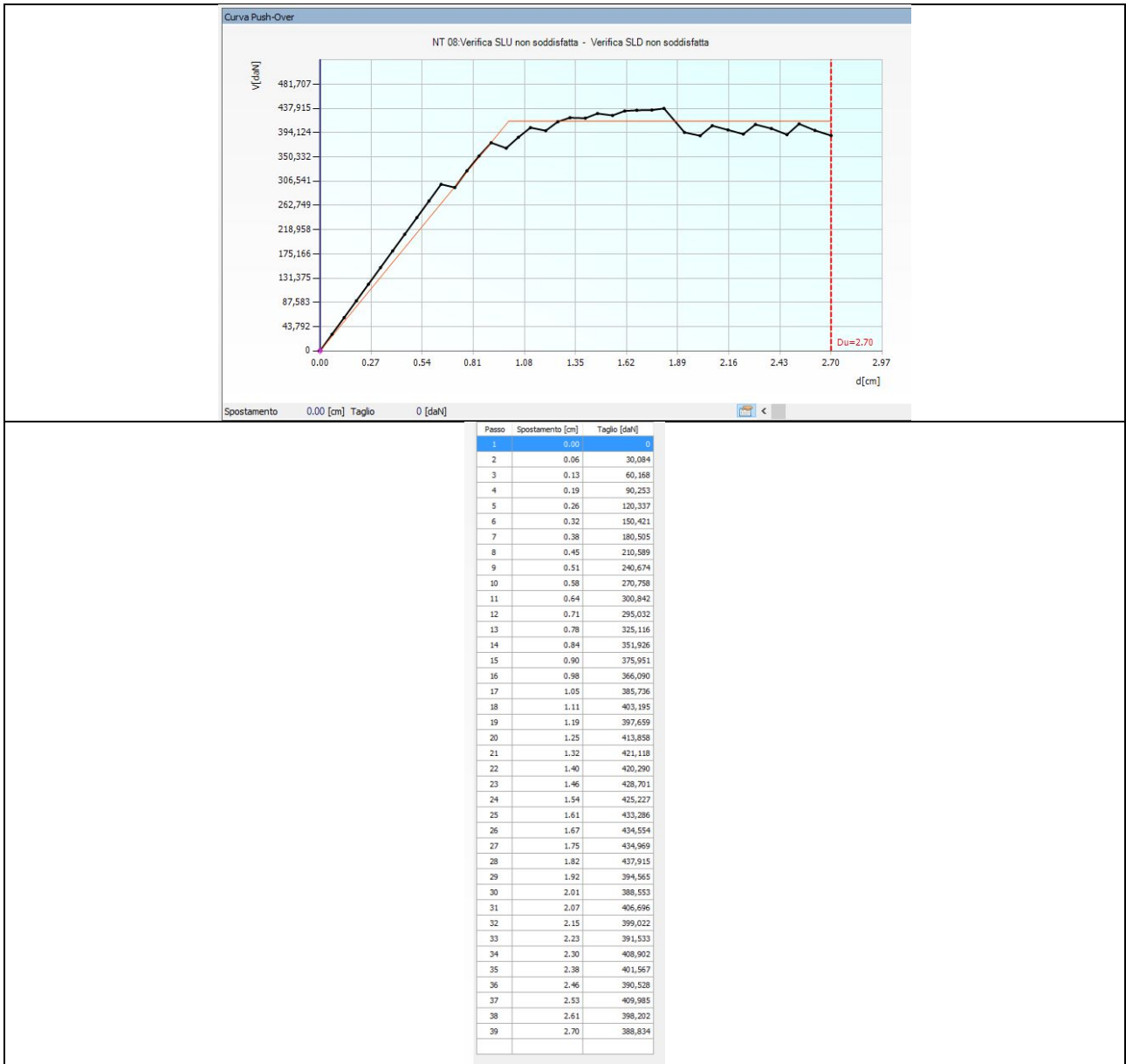


Aedes 4-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

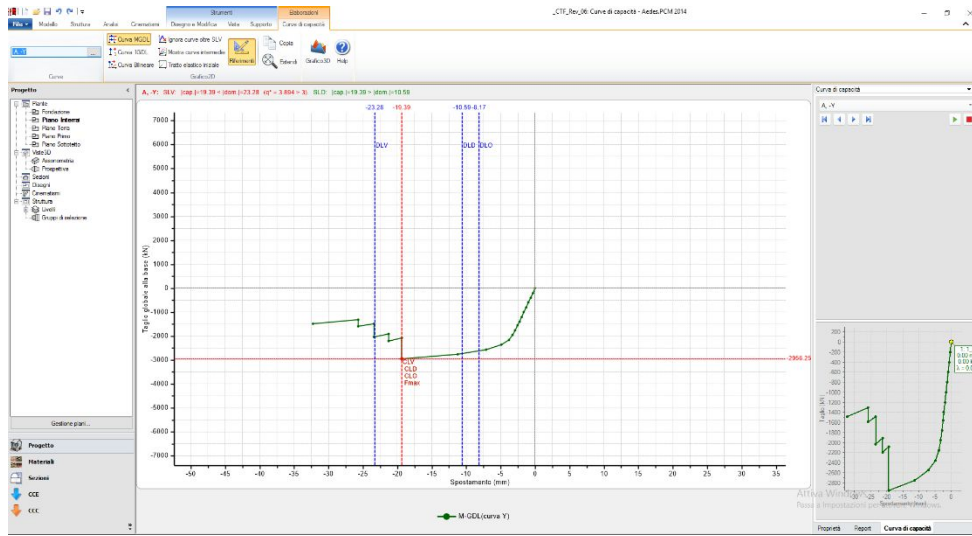


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

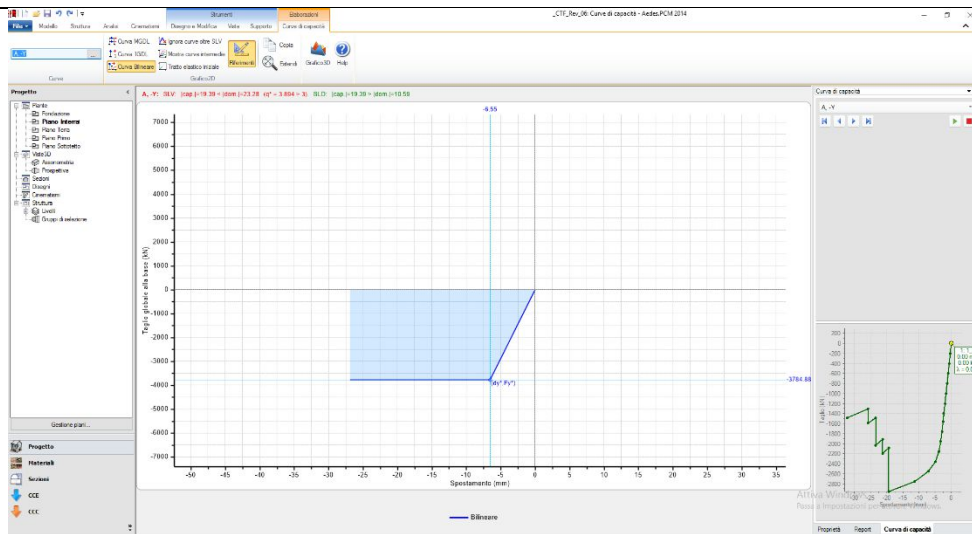
**d. Analisi pushover in direzione -y**  
**i. 3muri**



ii. Aedes



Aedes 4-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

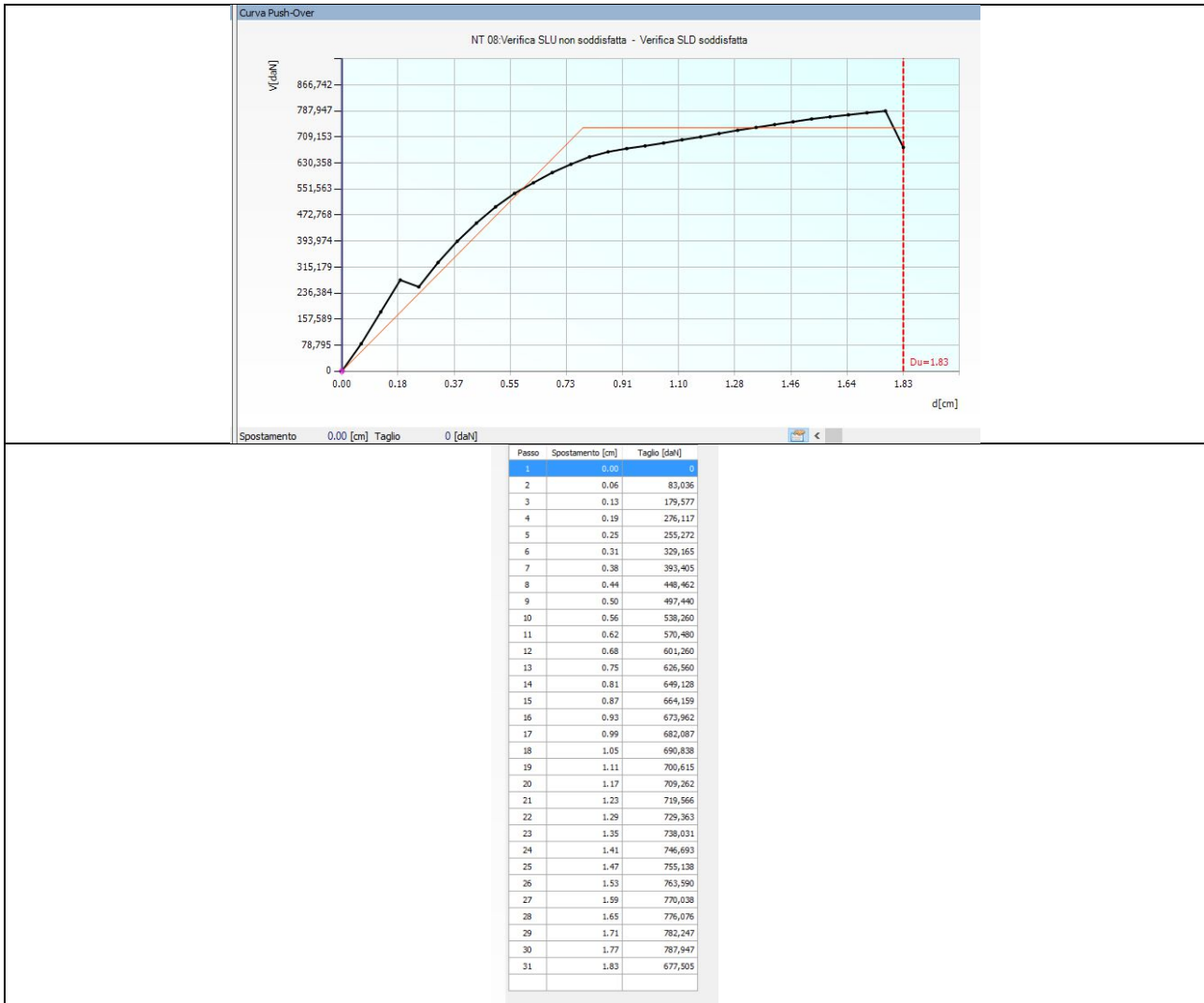


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

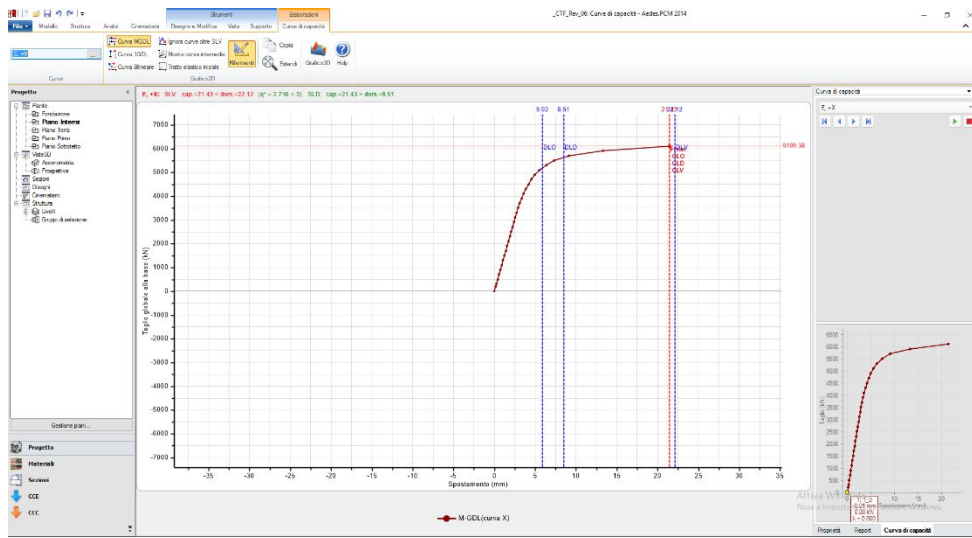
2) **Distribuzione uniforme di forze**

a. **Analisi pushover in direzione +x**

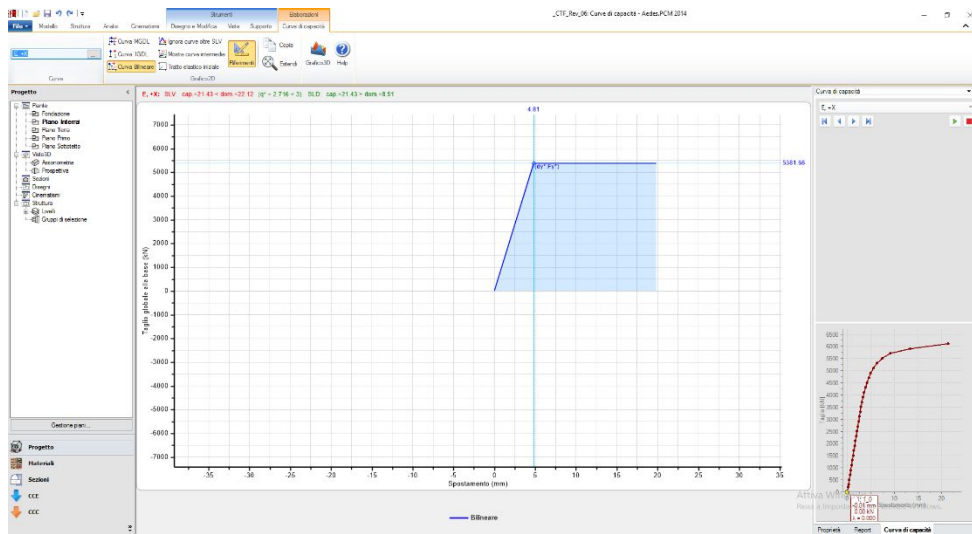
i. **3muri**



ii. **Aedes**

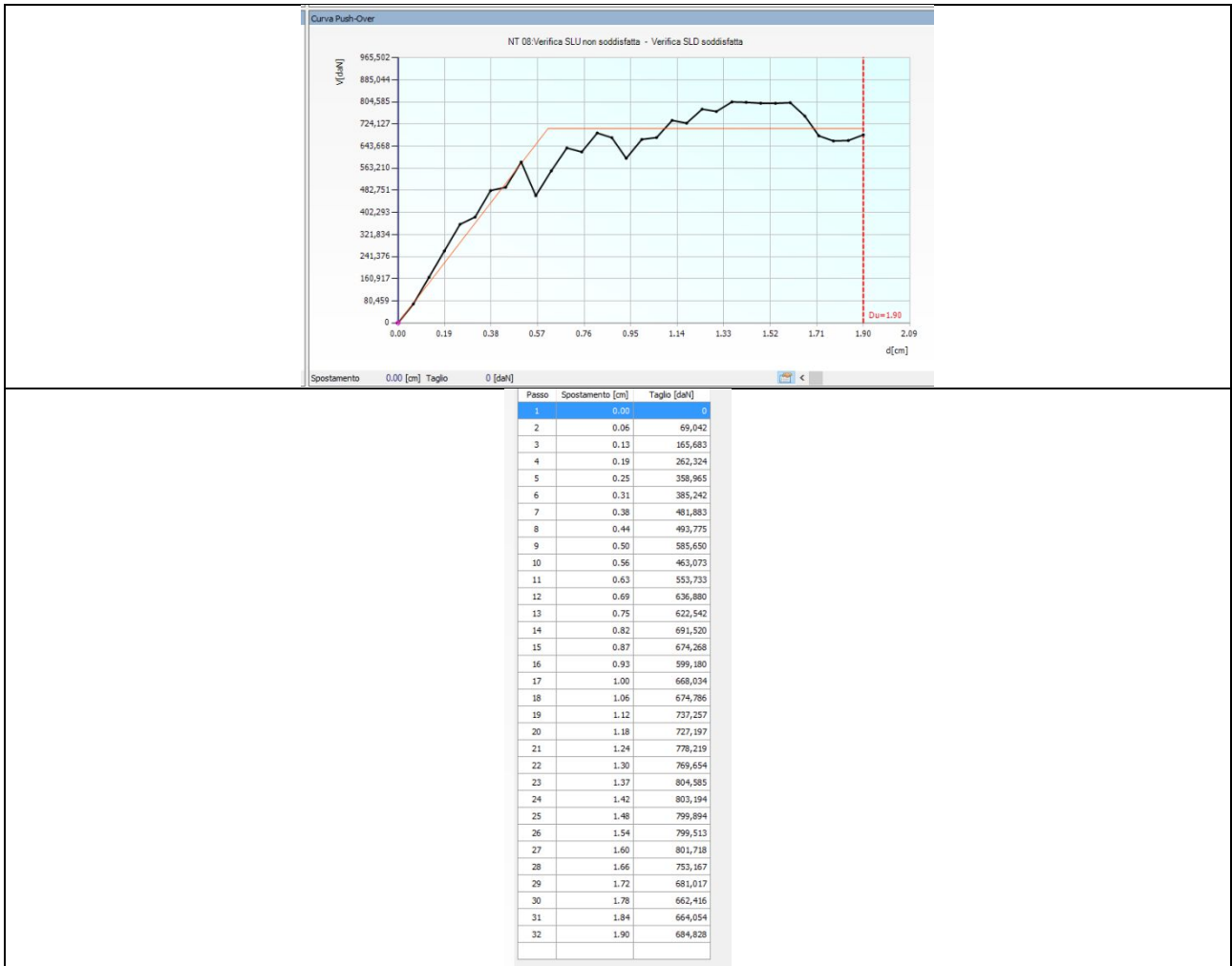


Aedes 4-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

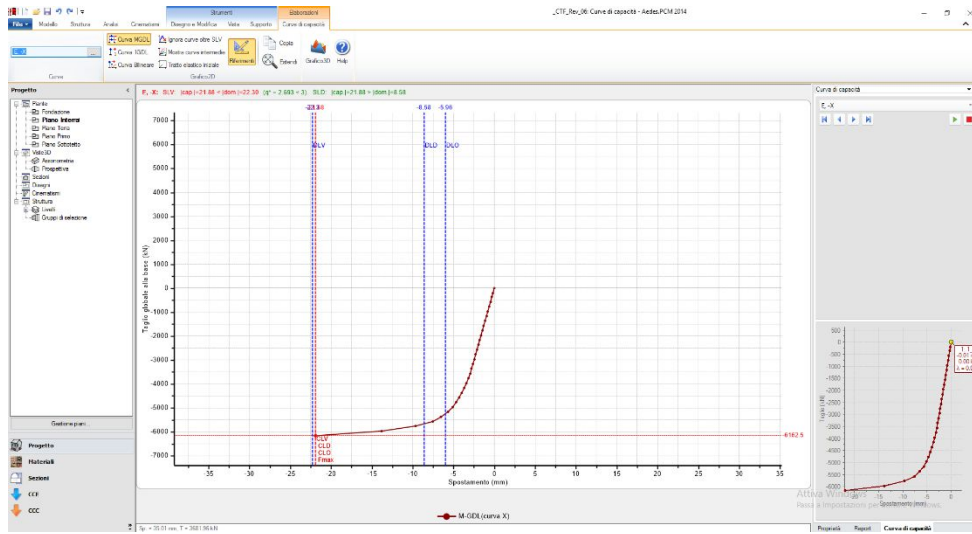


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

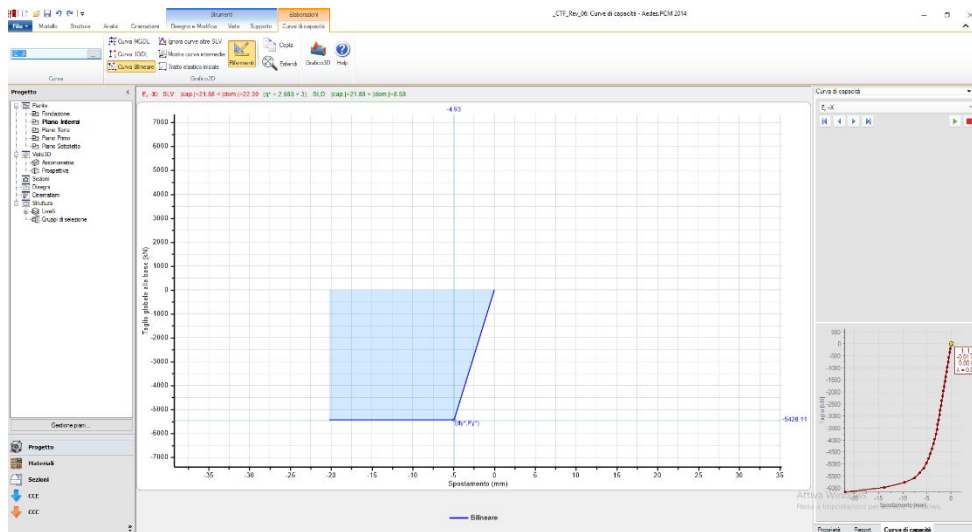
**b. Analisi pushover in direzione -x**  
**i. 3muri**



ii. Aedes

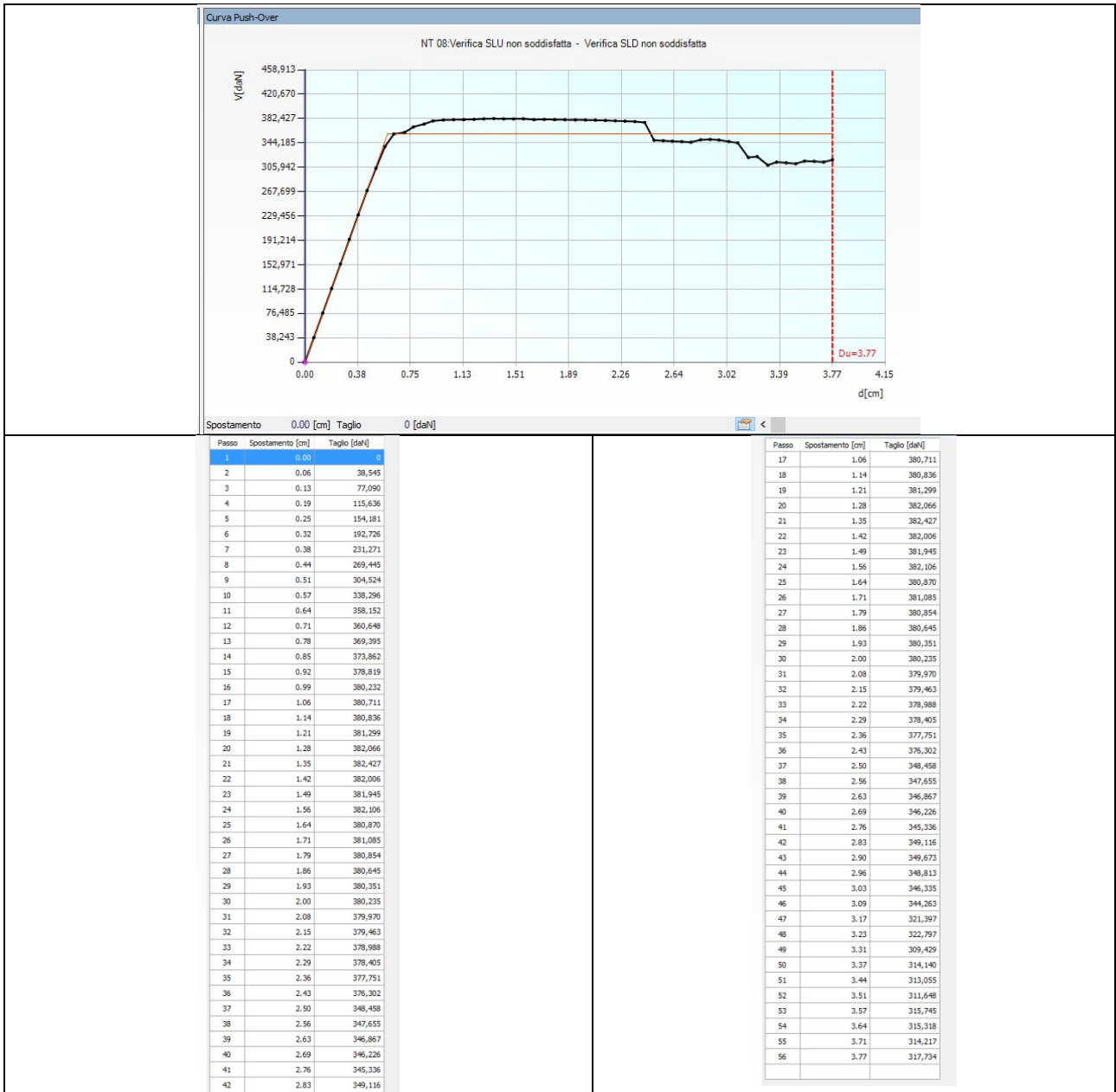


Aedes 4-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

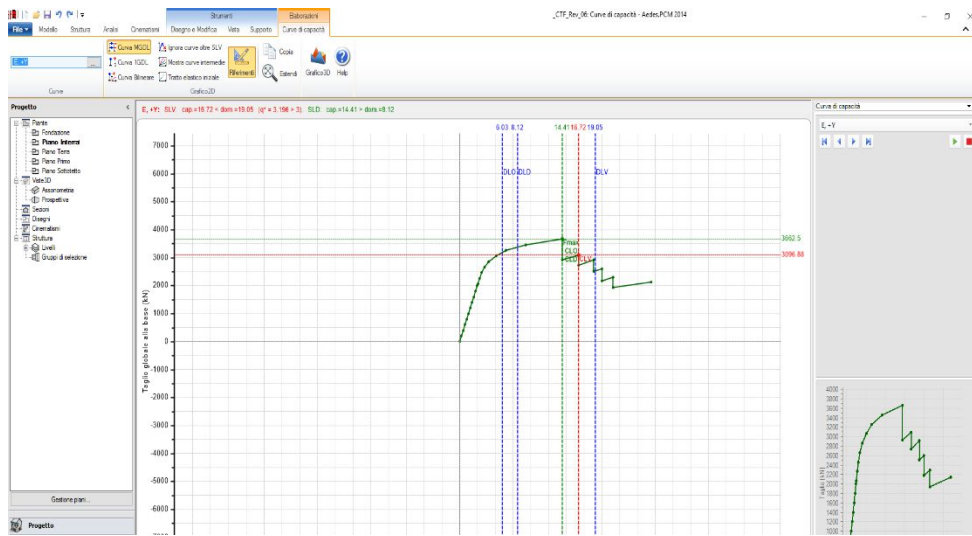


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

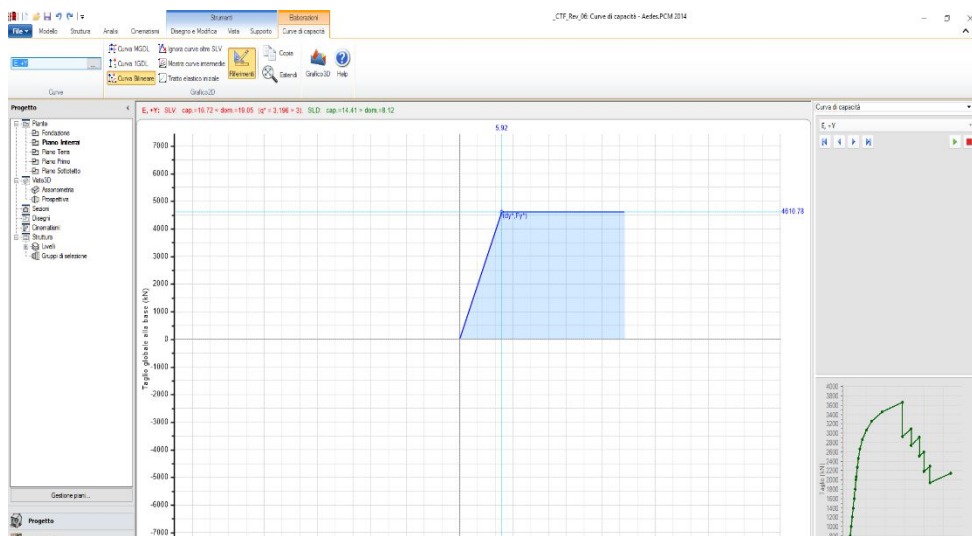
**c. Analisi pushover in direzione +y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

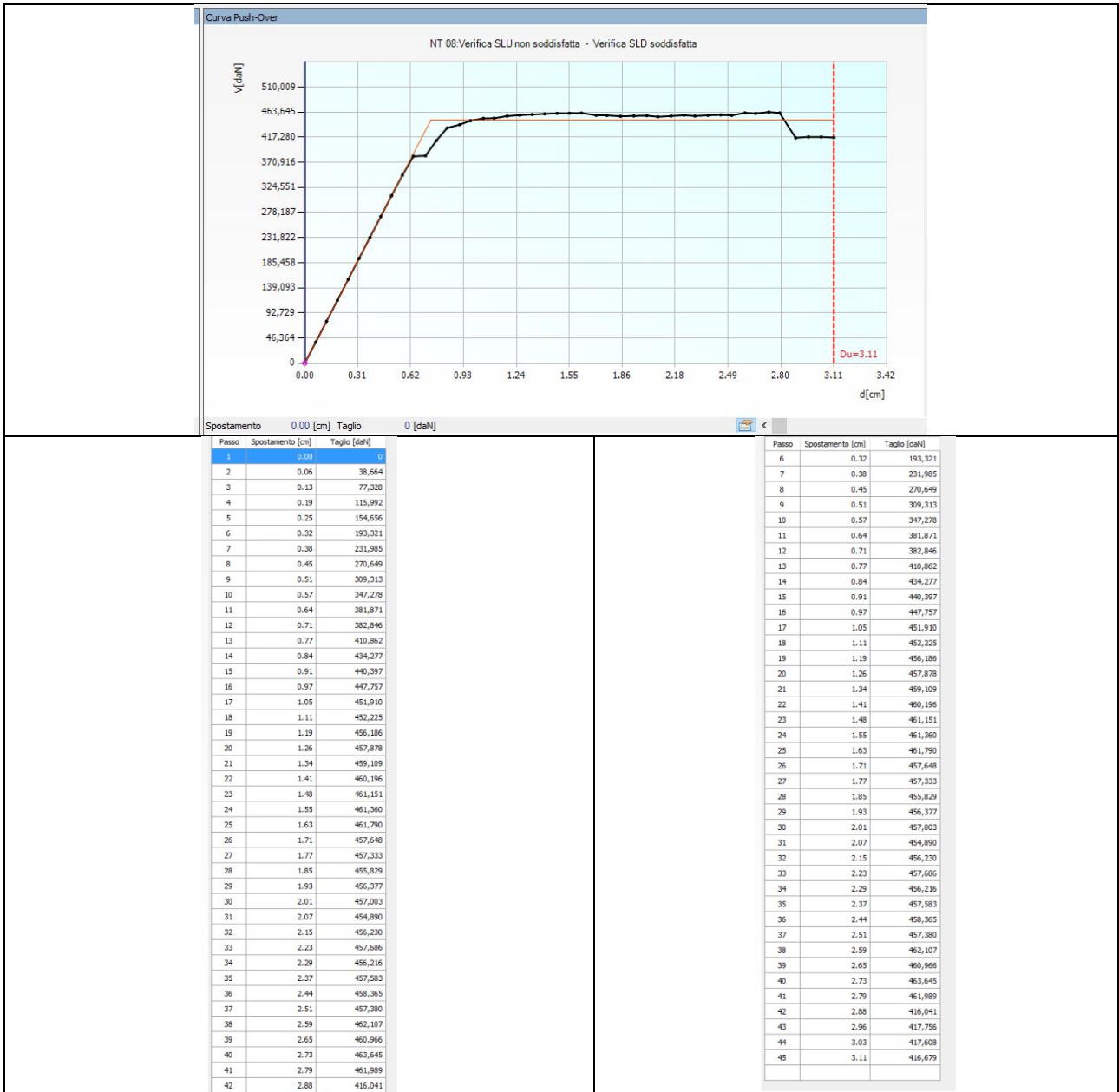


Aedes 4-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

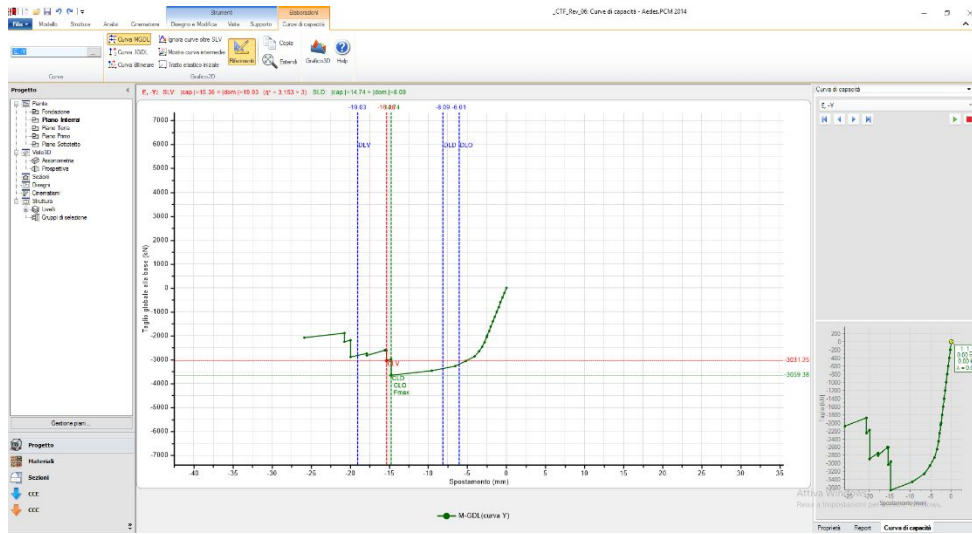


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

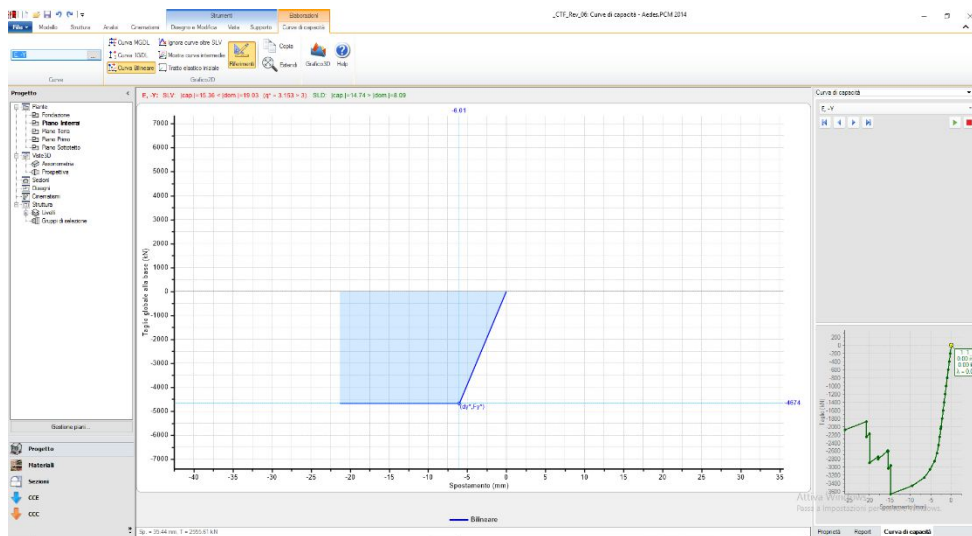
**d. Analisi pushover in direzione -y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**



Aedes 4-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.



Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

### 6.4.3.1 Comparazione analisi pushover

Si riportano i valori ottenuti per le analisi svolte ed il loro confronto.

Valgono le seguenti analogie:

- 1) Hyp 1 → modello con nodi vincolati nel piano, zone rigide date dall'intersezione maschio-fascia;
- 2) Hyp 2 → modello con nodi vincolati nel piano, zone rigide con diffusione a 30°;
- 3) Hyp 3 → modello con nodi non vincolati nel piano, zone rigide date dall'intersezione maschio-fascia;
- 4) Hyp 4 → modello con nodi non vincolati nel piano, zone rigide con diffusione a 30°.

HYP 1		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	4856.25	4618.75	6503.13	6543.75	2962.50	3000.00	3803.13	3793.75
$d_u$ (capacità)	[mm]	17.29	12.61	18.00	22.73	15.50	15.52	11.92	11.52
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	15.72	15.20	11.90	11.89	20.22	20.16	15.97	16.01
$q^*$		2.78	2.89	2.06	2.02	4.08	4.03	3.17	3.18
$T^*$	[s]	0.22	0.21	0.19	0.19	0.28	0.28	0.24	0.24
$k^*$	[kN/m]	1396605.00	1500590.00	180609.00	1861516.00	842810.10	845240.60	1183218.00	1179154.00
$F_y^*$	[kN]	5178.98	4983.43	6997.76	7118.88	3443.39	3478.35	4433.21	4412.77
$d_y^*$	[mm]	3.71	3.23	3.72	3.82	4.09	4.13	3.75	3.74

	X	Y
$m^*$	1725.02	1682.45
$\Gamma$	0.88	0.80

HYP 2		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	4575.00	4625.00	6109.38	6162.50	2959.38	2956.25	3662.50	3659.38
$d_u$ (capacità)	[mm]	23.94	28.27	21.43	21.95	19.32	19.39	16.72	15.36
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	27.55	27.80	22.12	22.45	23.26	23.28	19.05	19.03
$q^*$		3.670	3.623	2.716	2.693	3.888	3.894	3.196	3.153
$T^*$	[s]	0.286	0.289	0.249	0.251	0.347	0.347	0.299	0.299
$k^*$	[kN/m]	842735.50	827489.30	1118119.00	1100543.00	578518.20	577965.60	778780.40	777908.00
$F_y^*$	[kN]	3982.47	4035.13	5381.68	5428.11	3790.75	3784.88	4610.78	4671.00
$d_y^*$	[mm]	4.73	4.88	4.81	4.93	6.55	6.55	5.92	6.01

	X	Y
$m^*$	1751.60	1766.07
$\Gamma$	1.081	0.722

HYP 3			X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]		4625.00	4650.00	6234.38	6275.00	2606.25	2750.00	3409.38	3421.88
d <sub>u</sub> (capacità)	[mm]		15.52	17.09	15.78	16.18	23.07	13.81	18.63	15.12
d <sub>max</sub> (domanda)	[mm]		15.57	15.07	11.39	10.95	21.98	23.43	18.32	18.23
q*			2.19	2.19	1.63	1.62	4.41	3.91	3.28	3.22
T*	[s]		0.28	0.28	0.24	0.23	0.33	0.35	0.29	0.29
k*	[kN/m]		845024.50	887410.70	1159783.00	1220792.00	599164.40	530705.10	774565.60	777483.90
F <sub>y</sub> *	[kN]		6441.22	6449.02	8655.04	8703.77	3140.92	3537.02	4219.83	4300.55
d <sub>y</sub> *	[mm]		7.62	7.27	7.46	7.13	5.24	6.66	5.45	5.53

		X	Y
m*		1693.75	1658.12
Γ		0.618	0.717

HYP 4			X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]		7796.88	3931.25	5937.50	5796.88	2959.38	2615.63	3290.63	3312.50
d <sub>u</sub> (capacità)	[mm]		28.95	9.91	21.68	16.26	22.16	21.76	23.81	27.70
d <sub>max</sub> (domanda)	[mm]		31.33	29.21	24.20	23.60	24.99	25.81	20.38	21.00
q*			3.213	3.719	2.432	2.498	4.107	3.820	2.997	3.047
T*	[s]		0.360	0.337	0.302	0.295	0.416	0.428	0.358	0.366
k*	[kN/m]		528661.40	603899.80	749971.80	785659.80	393367.60	372209.50	530601.70	507416.40
F <sub>y</sub> *	[kN]		4499.92	3888.18	5944.27	5787.00	3507.65	3767.87	4803.01	4723.93
d <sub>y</sub> *	[mm]		8.51	6.44	7.93	7.37	8.92	10.12	9.05	9.31

		X	Y
m*		1732.56	1724.89
Γ		0.944	0.621

**1) Distribuzione proporzionale alle forze statiche**

**a. Direzione +x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
m*	[daN]	1902724.61	1725020.00	1751600.00	1693750.00	1732560.00
$\Gamma$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.24	0.88	1.08	0.62	0.94

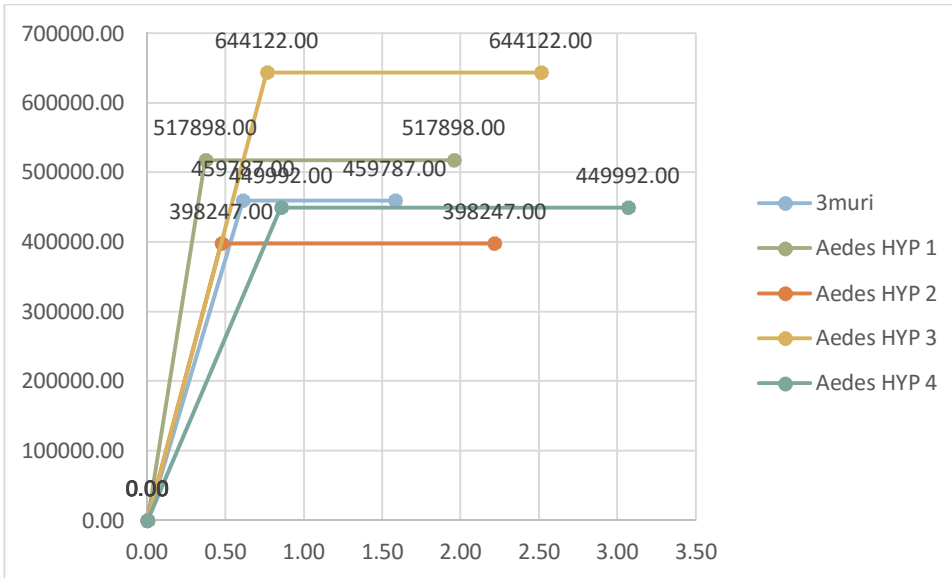
$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
177704.61	151124.61	208974.61	170164.61	9.34	7.94	10.98	8.94
0.36	0.16	0.62	0.30	28.71	12.82	50.16	23.87

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	662194.00	485625.00	457500.00	462500.00	779688.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	1.96	1.73	2.39	1.55	2.90
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	3.53	1.57	2.76	1.56	3.13
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		0.56	1.10	0.87	1.00	0.92
q*		3.42	2.78	3.67	2.19	3.21
T*	[s]	0.32	0.22	0.29	0.28	0.36
k*	[kN/m]	757032.57	1394342.05	845400.71	846830.33	527767.96
F <sub>y</sub> *	[daN]	459787.00	517898.00	398247.00	644122.00	449992.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.61	0.37	0.47	0.76	0.85
d <sub>u</sub> *	[cm]	1.58	1.96	2.21	2.51	3.07
Energia dissipata	[daN·cm]	586525.06	916877.48	787778.80	1372190.40	1188535.65

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
176569.00	204694.00	199694.00	-117494.00	26.66	30.91	30.16	-17.74
0.23	-0.43	0.41	-0.94	11.79	-22.14	20.82	-47.70
1.96	0.78	1.97	0.40	55.47	21.95	55.89	11.25
-0.54	-0.31	-0.44	-0.37	-98.09	-56.50	-79.52	-66.42
0.64	-0.25	1.23	0.21	18.71	-7.31	35.85	6.05
0.09	0.03	0.03	-0.05	29.84	9.21	10.79	-14.29
-637309.48	-88368.14	-89797.76	229264.61	-84.19	-11.67	-11.86	30.28
-58111.00	61540.00	-184335.00	9795.00	-12.64	13.38	-40.09	2.13
0.24	0.14	-0.15	-0.24	39.18	22.46	-24.92	-39.51
-0.38	-0.63	-0.93	-1.49	-23.74	-40.11	-58.88	-94.02
-330352.42	-201253.74	-785665.34	-602010.59	-56.32	-34.31	-133.95	-102.64

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	140235.035	0.00	0.00	96070.079
0.61	459787.00	446290.027	0.37	517898.00	820807.401
1.58	459787.00		1.96	517898.00	
	TOT	586525.062		TOT	916877.480

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	94185.416	0.00	0.00	245410.482	0.00	0.00	191471.596
0.47	398247.00	693593.385	0.76	644122.00	1126779.916	0.85	449992.00	997064.054
2.21	398247.00		2.51	644122.00		3.07	449992.00	
	TOT	787778.801		TOT	1372190.398		TOT	1188535.650



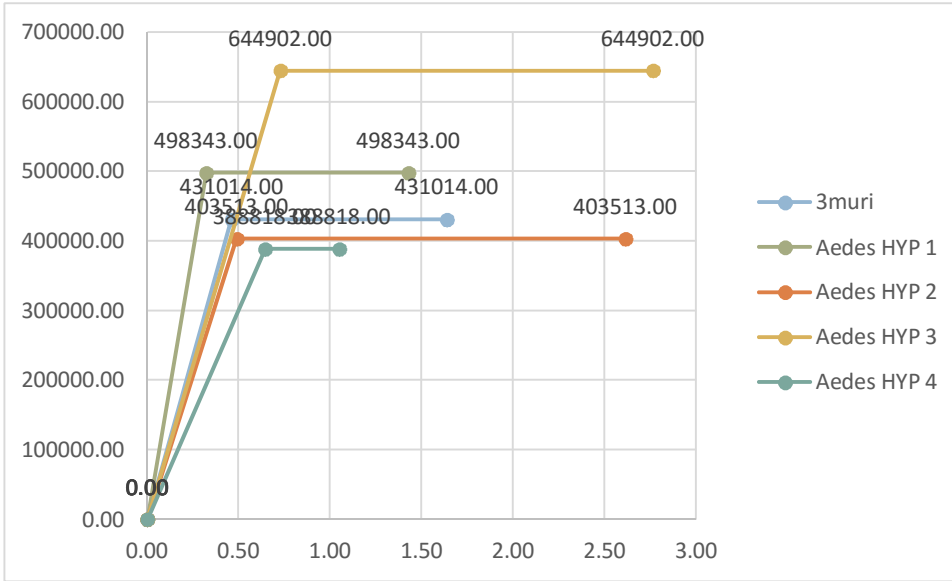
**b. Direzione -x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	587363.00	461875.00	462500.00	465000.00	393125.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	2.03	1.26	2.83	1.71	0.99
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	3.13	1.52	2.78	1.51	2.92
$d_u / d_{max}$		0.65	0.83	1.02	1.13	0.34
$q^*$		3.65	2.89	3.62	2.19	3.72
$T^*$	[s]	0.28	0.21	0.29	0.28	0.34
$k^*$	[kN/m]	937913.53	1501048.29	827940.23	884186.05	602265.82
$F_y^*$	[daN]	431014.00	498343.00	403513.00	644902.00	388818.00
$d_y^*$	[cm]	0.46	0.32	0.49	0.73	0.64
$d_u^*$	[cm]	1.64	1.43	2.62	2.77	1.05
Energia dissipata	[daN·cm]	606478.41	630389.24	956798.38	1548972.17	282977.13

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
125488.00	124863.00	122363.00	194238.00	21.36	21.26	20.83	33.07
0.77	-0.80	0.32	1.04	37.88	-39.26	15.81	51.18
1.61	0.35	1.62	0.21	51.44	11.18	51.85	6.68
-0.18	-0.37	-0.49	0.31	-27.91	-56.79	-74.85	47.69
0.76	0.03	1.46	-0.07	20.85	0.74	39.95	-1.89
0.07	-0.01	0.01	-0.05	24.73	-2.12	2.83	-19.08
-563134.76	109973.30	53727.48	335647.71	-60.04	11.73	5.73	35.79
-67329.00	27501.00	-213888.00	42196.00	-15.62	6.38	-49.62	9.79
0.14	-0.03	-0.27	-0.18	29.78	-6.09	-58.04	-40.00
0.21	-0.98	-1.13	0.59	12.87	-59.74	-68.92	35.88
-23910.83	-350319.97	-942493.76	323501.28	-3.94	-57.76	-155.40	53.34

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	99133.220	0.00	0.00	80482.395
0.46	431014.00	507345.189	0.32	498343.00	549906.843
1.64	431014.00		1.43	498343.00	
	TOT	606478.409		TOT	630389.238

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	98457.172	0.00	0.00	234421.877	0.00	0.00	125199.396
0.49	403513.00	858341.207	0.73	644902.00	1314550.288	0.64	388818.00	157777.731
2.62	403513.00		2.77	644902.00		1.05	388818.00	
	TOT	956798.379		TOT	1548972.165		TOT	282977.127



**c. Direzione +y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
m*	[daN]	1889371.53	1682450.00	1766070.00	1658120.00	1724890.00
Γ	[m/s <sup>2</sup> ]	1.21	0.80	0.72	0.72	0.62

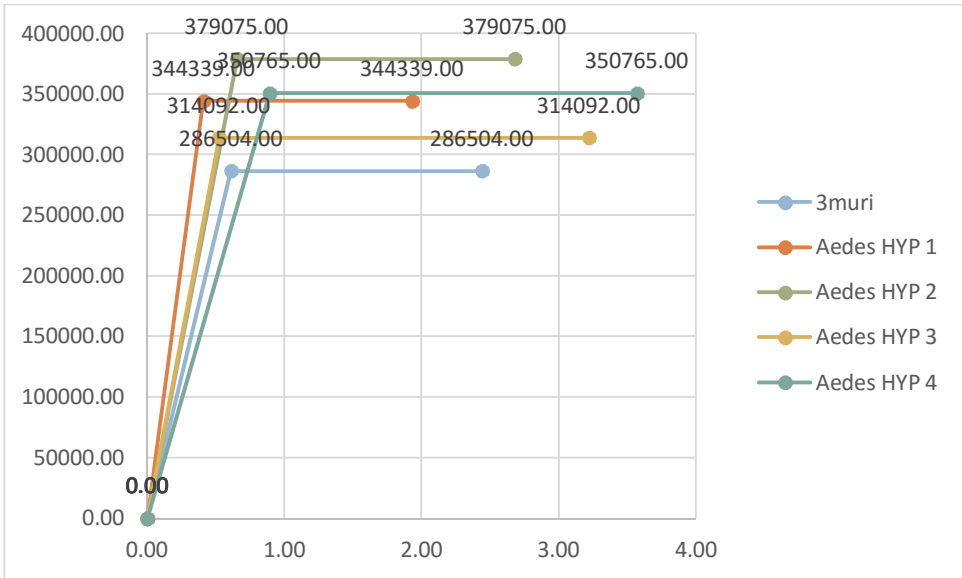
Δ				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
206921.53	123301.53	231251.53	164481.53	10.95	6.53	12.24	8.71
0.41	0.49	0.49	0.59	33.64	40.33	40.74	48.68

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	359597.00	296250.00	295938.00	260625.00	295938.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	2.950	1.55	1.93	2.31	2.22
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	4.700	2.02	2.33	2.20	2.50
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		0.628	0.767	0.831	1.050	0.887
q*		5.460	4.077	3.888	4.405	4.11
T*	[s]	0.399	0.281	0.347	0.331	0.42
k*	[kN/m]	468523.43	842810.100	578518.200	597474.96	393490.71
F <sub>y</sub> *	[daN]	286504.00	344339.000	379075.000	314092.000	350765.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.610	0.409	0.655	0.524	0.89
d <sub>u</sub> *	[cm]	2.438	1.930	2.676	3.218	3.568
Energia dissipata	[daN·cm]	611117.77	594247.00	890219.84	928321.90	1095241.97

Δ				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
63347.00	63659.00	98972.00	63659.00	17.62	17.70	27.52	17.70
1.40	1.02	0.64	0.73	47.46	34.51	21.80	24.88
2.68	2.37	2.50	2.20	56.98	50.51	53.23	46.83
-0.14	-0.20	-0.42	-0.26	-22.13	-32.33	-67.22	-41.28
1.38	1.57	1.06	1.35	25.33	28.79	19.32	24.78
0.12	0.05	0.07	-0.02	29.57	13.03	17.04	-4.26
-374286.67	-109994.77	-128951.53	75032.72	-79.89	-23.48	-27.52	16.01
-57835.00	-92571.00	-27588.00	-64261.00	-20.19	-32.31	-9.63	-22.43
0.20	-0.05	0.09	-0.28	32.95	-7.38	14.10	-46.23
0.51	-0.24	-0.78	-1.13	20.83	-9.76	-31.98	-46.37
16870.77	-279102.07	-317204.14	-484124.20	2.76	-45.67	-51.91	-79.22

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	87383.720	0.00	0.00	70417.326
0.61	286504.00	523734.048	0.41	344339.00	523829.670
2.44	286504.00		1.93	344339.00	
	TOT	611117.768		TOT	594246.996

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	124147.063	0.00	0.00	82292.104	0.00	0.00	156441.19
0.66	379075.00	766072.773	0.52	314092.00	846029.800	0.89	350765.00	938800.78
2.68	379075.00		3.22	314092.00		3.57	350765.00	
	TOT	890219.835		TOT	928321.904		TOT	1095241.97



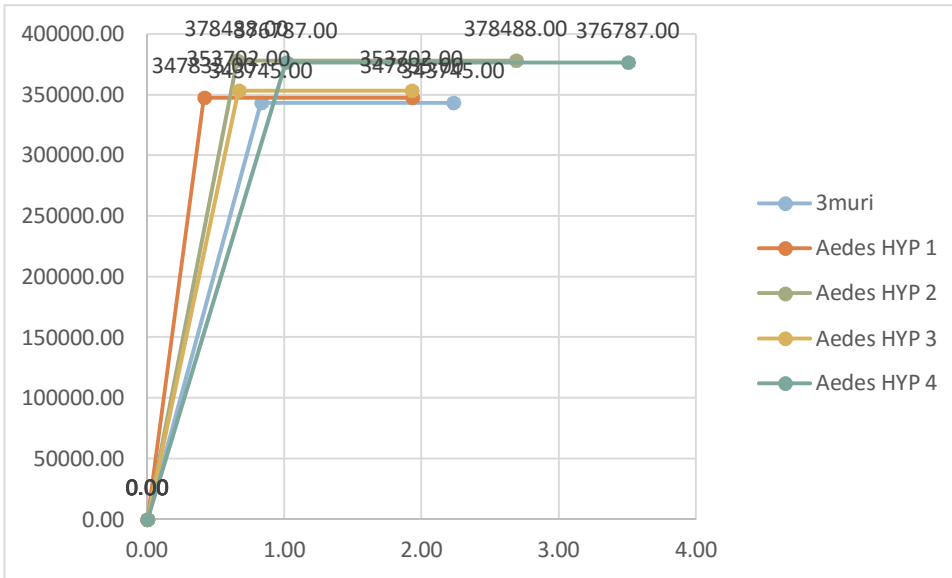
**d. Direzione -y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	437915.00	300000.00	295625.000	275000.000	261563.000
$d_u$ (capacità)	[cm]	2.700	1.55	1.939	1.381	2.176
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	5.010	2.02	2.328	2.343	2.581
$d_u / d_{max}$		0.539	0.770	0.833	0.589	0.843
$q^*$		4.550	4.026	3.894	3.912	3.820
$T^*$	[s]	0.423	0.280	0.347	0.351	0.428
$k^*$	[kN/m]	416865.90	847199.79	579040.18	531326.48	371735.13
$F_y^*$	[daN]	343745.00	347835.000	378488.000	353702.000	376787.000
$d_y^*$	[cm]	0.830	0.413	0.655	0.666	1.012
$d_u^*$	[cm]	2.231	1.933	2.686	1.926	3.504
Energia dissipata	[daN·cm]	624380.12	600450.927	892510.88	563475.90	1129617.13

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
137915.00	142290.00	162915.00	176352.00	31.49	32.49	37.20	40.27
1.15	0.76	1.32	0.52	42.52	28.19	48.85	19.41
2.99	2.68	2.67	2.43	59.76	53.53	53.23	48.48
-0.23	-0.29	-0.05	-0.30	-42.85	-54.55	-9.37	-56.44
0.52	0.66	0.64	0.73	11.52	14.42	14.02	16.04
0.14	0.08	0.07	-0.01	33.81	17.97	17.02	-1.18
-430333.89	-162174.28	-114460.58	45130.77	-103.23	-38.90	-27.46	10.83
-4090.00	-34743.00	-9957.00	-33042.00	-1.19	-10.11	-2.90	-9.61
0.42	0.18	0.16	-0.18	50.24	21.08	19.76	-21.93
0.30	-0.45	0.31	-1.27	13.38	-20.35	13.68	-57.03
23929.20	-268130.75	60904.22	-505237.01	3.83	-42.94	9.75	-80.92

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	142654.175	0.00	0.00	71827.928
0.83	343745.00	481725.948	0.41	347835.00	528622.999
2.23	343745.00		1.93	347835.00	
	TOT	624380.123		TOT	600450.927

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	123954.820	0.00	0.00	117782.766	0.00	0.00	190654.222
0.66	378488.00	768556.055	0.67	353702.00	445693.132	1.01	376787.00	938962.912
2.69	378488.00		1.93	353702.00		3.50	376787.00	
	TOT	892510.875		TOT	563475.898		TOT	1129617.134



**2) Distribuzione uniforme di forze**

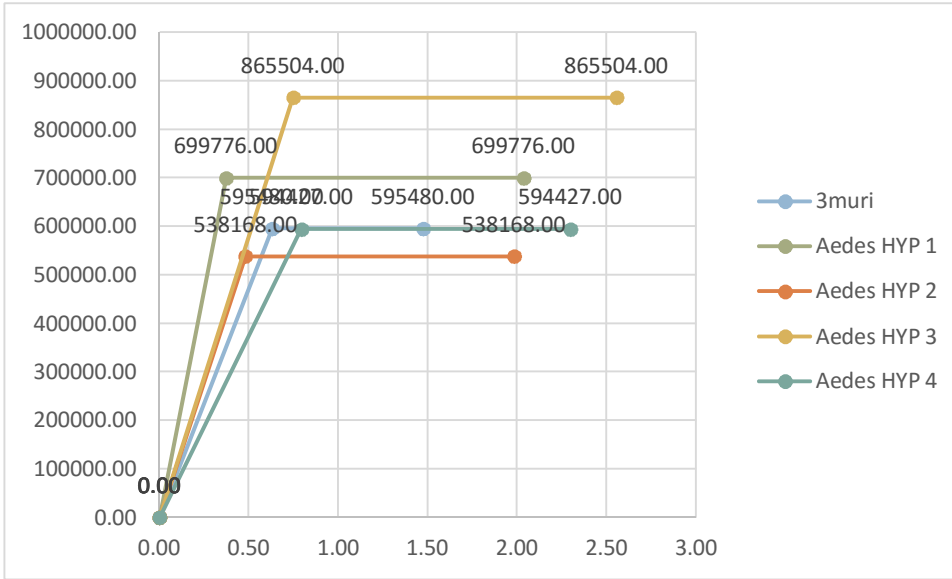
**a. Direzione +x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	787947.00	650313.00	610938.00	623438.00	593750.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.83	1.80	2.14	1.58	2.17
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	2.98	1.19	2.21	1.14	2.42
$d_u / d_{max}$		0.61	1.51	0.97	1.39	0.90
$q^*$		2.640	2.06	2.72	1.63	2.43
$T^*$	[s]	0.283	0.19	0.25	0.24	0.30
$k^*$	[kN/m]	937913.53	1886455.95	1115310.98	1160877.95	749953.15
$F_y^*$	[daN]	595480.00	699776.00	538168.00	865504.00	594427.00
$d_y^*$	[cm]	0.63	0.37	0.48	0.75	0.79
$d_u^*$	[cm]	1.48	2.04	1.98	2.55	2.30
Energia dissipata	[daN·cm]	691237.03	1294724.92	937447.58	1887143.24	1129476.79

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
137634.00	177009.00	164509.00	194197.00	17.47	22.46	20.88	24.65
0.03	-0.31	0.25	-0.34	1.64	-17.10	13.77	-18.47
1.79	0.77	1.84	0.56	60.07	25.77	61.78	18.79
-0.90	-0.35	-0.77	-0.28	-146.31	-57.76	-125.60	-45.88
0.58	-0.08	1.01	0.21	22.08	-2.88	38.14	7.88
0.09	0.03	0.04	-0.02	32.86	12.01	15.19	-6.71
-948542.42	-177397.45	-222964.42	187960.38	-101.13	-18.91	-23.77	20.04
-104296.00	57312.00	-270024.00	1053.00	-17.51	9.62	-45.35	0.18
0.26	0.15	-0.12	-0.16	40.95	23.65	-18.41	-25.87
-0.56	-0.51	-1.08	-0.82	-37.97	-34.33	-73.02	-55.62
-603487.90	-246210.56	-1195906.22	-438239.76	-87.31	-35.62	-173.01	-63.40

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	187576.200	0.00	0.00	130158.336
0.63	595480.00	503660.826	0.37	699776.00	1164566.586
1.48	595480.00		2.04	699776.00	
	TOT	691237.026		TOT	1294724.922

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	129429.404	0.00	0.00	322832.992	0.00	0.00	235690.306
0.48	538168.00	808018.180	0.75	865504.00	1564310.249	0.79	594427.00	893786.482
1.98	538168.00		2.55	865504.00		2.30	594427.00	
	TOT	937447.584		TOT	1887143.241		TOT	1129476.788



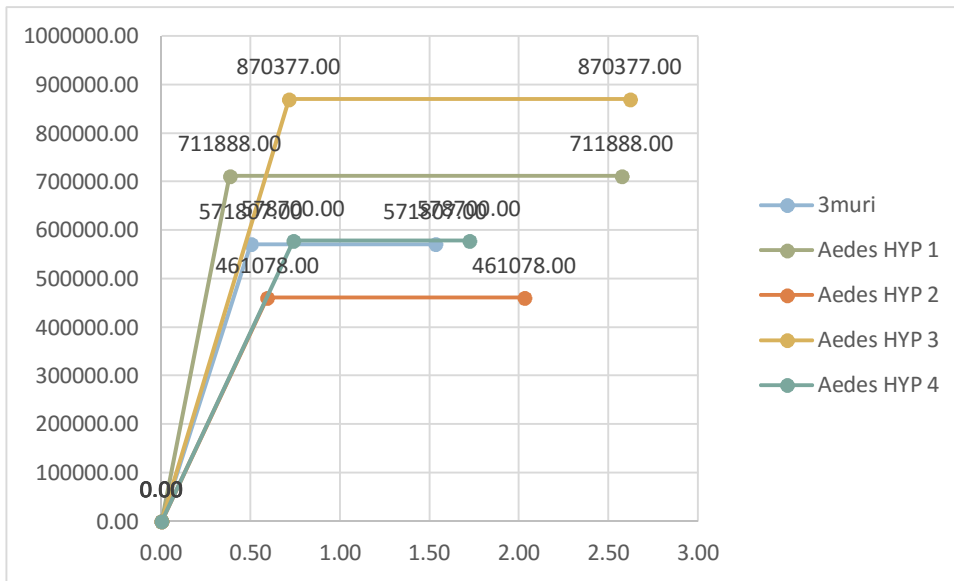
**b. Direzione -x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	804585.00	654375.00	616250.00	627500.00	579688.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.90	2.27	2.20	1.62	1.63
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	2.64	1.19	1.91	1.10	2.36
$d_u / d_{max}$		0.72	1.91	1.15	1.48	0.69
$q^*$		2.75	2.02	3.20	1.62	2.50
$T^*$	[s]	0.26	0.19	0.30	0.23	0.30
$k^*$	[kN/m]	1155195.03	1866754.20	773485.71	1220792.00	785659.80
$F_y^*$	[daN]	571807.00	711888.00	461078.00	870377.00	578700.00
$d_y^*$	[cm]	0.50	0.38	0.59	0.71	0.74
$d_u^*$	[cm]	1.53	2.57	2.03	2.62	1.72
Energia dissipata	[daN·cm]	733204.14	1694483.49	799752.37	1968464.62	783535.28

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
150210.00	188335.00	177085.00	224897.00	18.67	23.41	22.01	27.95
-0.37	-0.30	0.28	0.27	-19.63	-15.53	14.84	14.42
1.45	0.74	1.55	0.28	54.96	27.84	58.52	10.61
-1.19	-0.43	-0.76	0.03	-165.62	-60.10	-105.31	4.27
0.73	-0.45	1.13	0.25	26.47	-16.22	40.95	9.16
0.06	-0.04	0.02	-0.04	25.10	-17.25	8.24	-15.69
-711559.17	381709.32	-65596.97	369535.23	-61.60	33.04	-5.68	31.99
-140081.00	110729.00	-298570.00	-6893.00	-24.50	19.36	-52.22	-1.21
0.12	-0.09	-0.21	-0.24	23.60	-18.40	-42.60	-47.40
-1.04	-0.50	-1.09	-0.19	-67.81	-32.52	-70.87	-12.41
-961279.35	-66548.24	-1235260.49	-50331.14	-131.11	-9.08	-168.47	-6.86

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	142951.750	0.00	0.00	135970.608
0.50	571807.00	590252.387	0.38	711888.00	1558512.884
1.53	571807.00		2.57	711888.00	
	TOT	733204.137		TOT	1694483.492

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	136479.088	0.00	0.00	310289.401	0.00	0.00	213250.950
0.59	461078.00	663273.286	0.71	870377.00	1658175.222	0.74	578700.00	570284.329
2.03	461078.00		2.62	870377.00		1.72	578700.00	
	TOT	799752.374		TOT	1968464.622		TOT	783535.279



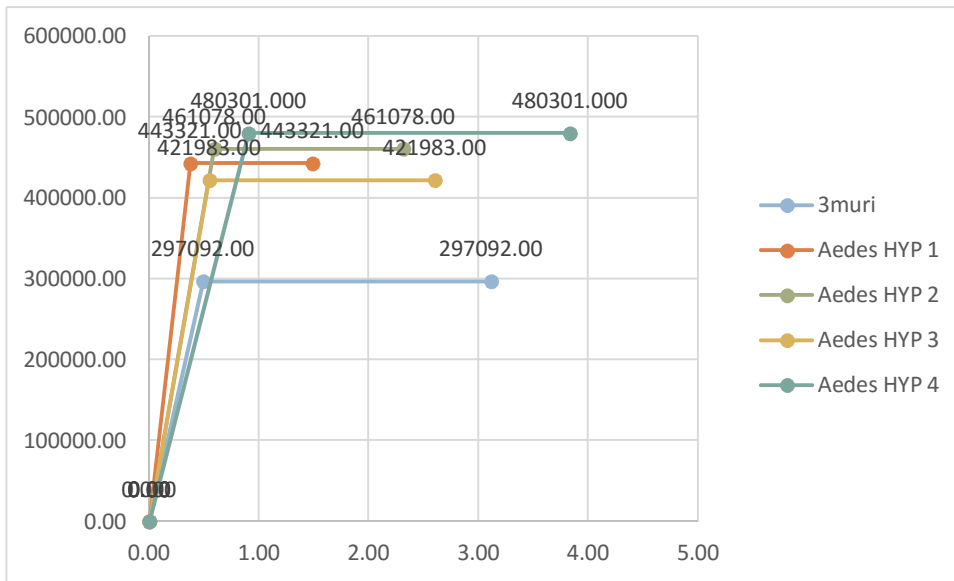
**c. Direzione +y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	382427.00	380313.00	366250.00	340938.00	329063.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	3.770	1.19	1.67	1.86	2.38
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	4.040	1.60	1.91	1.83	2.04
$d_u / d_{max}$		0.933	0.746	0.878	1.017	1.168
$q^*$		5.26	3.17	3.20	3.28	3.00
$T^*$	[s]	0.351	0.24	0.30	0.29	0.36
$k^*$	[kN/m]	605428.51	1182511.06	779875.49	773018.20	531318.68
$F_y^*$	[daN]	297092.00	443321.00	461078.00	421983.00	480301.00
$d_y^*$	[cm]	0.49	0.38	0.59	0.55	0.91
$d_u^*$	[cm]	3.12	1.48	2.32	2.60	3.83
Energia dissipata	[daN·cm]	852862.741	574957.801	931280.491	981459.185	1624204.347

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
2114.00	16177.00	41489.00	53364.00	0.55	4.23	10.85	13.95
2.58	2.10	1.91	1.39	68.38	55.65	50.58	36.84
2.44	2.14	2.21	2.00	60.47	52.85	54.65	49.55
0.19	0.06	-0.08	-0.24	20.01	5.95	-8.98	-25.20
2.09	2.06	1.98	2.26	39.79	39.24	37.66	43.02
0.11	0.05	0.06	-0.01	32.48	14.81	17.09	-1.99
-577082.55	-174446.98	-167589.68	74109.83	-95.32	-28.81	-27.68	12.24
-146229.00	-163986.00	-124891.00	-183209.00	-49.22	-55.20	-42.04	-61.67
0.12	-0.10	-0.06	-0.42	23.47	-20.82	-11.22	-84.69
1.63	0.80	0.52	-0.72	52.36	25.67	16.61	-23.06
277904.94	-78417.75	-128596.44	-771341.61	32.58	-9.19	-15.08	-90.44

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	72787.540	0.000	0.00	83122.69
0.49	297092.00	780075.201	0.375	443321.00	491835.11
3.12	297092.00		1.484	443321.00	
	TOT	852862.741			574957.80

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	136479.088	0.000	0.00	114990.37	0.000	0.000	217336.203
0.59	461078.00	794801.403	0.545	421983.00	866468.82	0.905	480301.000	1406868.144
2.32	461078.00		2.598	421983.00		3.834	480301.000	
		931280.49			981459.18			1624204.35



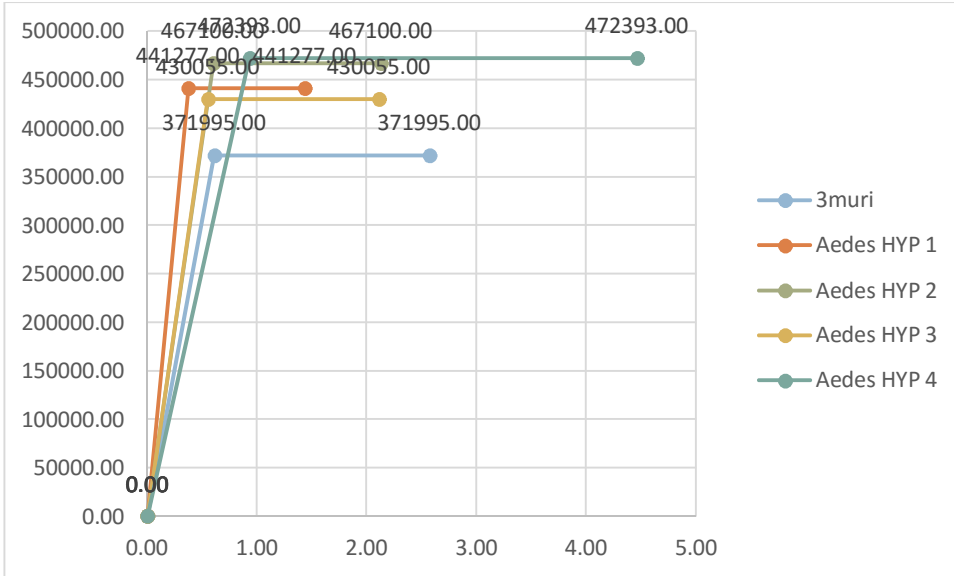
**d. Direzione -y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	461790.00	379375.00	365938.00	342188.00	331250.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	3.11	1.15	1.54	1.51	2.77
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	3.99	1.60	1.90	1.82	2.10
$d_u / d_{max}$		0.78	0.72	0.81	0.83	1.32
$q^*$		4.20	3.18	3.15	3.22	3.05
$T^*$	[s]	0.351	0.24	0.30	0.29	0.37
$k^*$	[kN/m]	605428.51	1182511.06	779875.49	778358.55	508345.48
$F_y^*$	[daN]	371995.00	441277.00	467100.00	430055.00	472393.00
$d_y^*$	[cm]	0.61	0.37	0.60	0.55	0.93
$d_u^*$	[cm]	2.57	1.43	2.13	2.11	4.46
Energia dissipata	[daN·cm]	842660.91	550546.088	853356.118	787984.018	1887232.476

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
82415.00	95852.00	119602.00	130540.00	17.85	20.76	25.90	28.27
1.96	1.57	1.60	0.34	62.96	50.61	51.38	10.93
2.39	2.09	2.17	1.89	59.87	52.31	54.31	47.37
0.06	-0.03	-0.05	-0.54	7.68	-3.55	-6.41	-69.23
1.02	1.05	0.98	1.15	24.24	24.93	23.38	27.45
0.11	0.05	0.06	-0.02	32.48	14.81	17.38	-4.27
-577082.55	-174446.98	-172930.03	97083.03	-95.32	-28.81	-28.56	16.04
-69282.00	-95105.00	-58060.00	-100398.00	-18.62	-25.57	-15.61	-26.99
0.24	0.01	0.06	-0.32	38.69	1.48	9.34	-52.62
1.14	0.44	0.46	-1.89	44.18	17.23	17.95	-73.55
292114.82	-10695.21	54676.89	-1044571.57	34.67	-1.27	6.49	-123.96

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	113458.475	0.00	0.00	82518.799
0.61	371995.00	729202.430	0.37	441277.00	468027.289
2.57	371995.00		1.43	441277.00	
	TOT	842660.905		TOT	550546.088

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	140363.550	0.00	0.00	118910.208	0.00	0.00	219898.942
0.60	467100.00	712992.568	0.55	430055.00	669073.811	0.93	472393.00	1667333.534
2.13	467100.00		2.11	430055.00		4.46	472393.00	
	TOT	853356.118		TOT	787984.018		TOT	1887232.476



Si riporta i valori ottenuti per la valutazione degli indicatori di rischio sismico

**1) 3 muri**

Nei grafici a seguire si riportano i valori relativi alla capacità della struttura in termini di accelerazione di picco al suolo e rapporto tra l'accelerazione di capacità e quella di domanda per le diverse distribuzioni analizzate durante le analisi pushover.

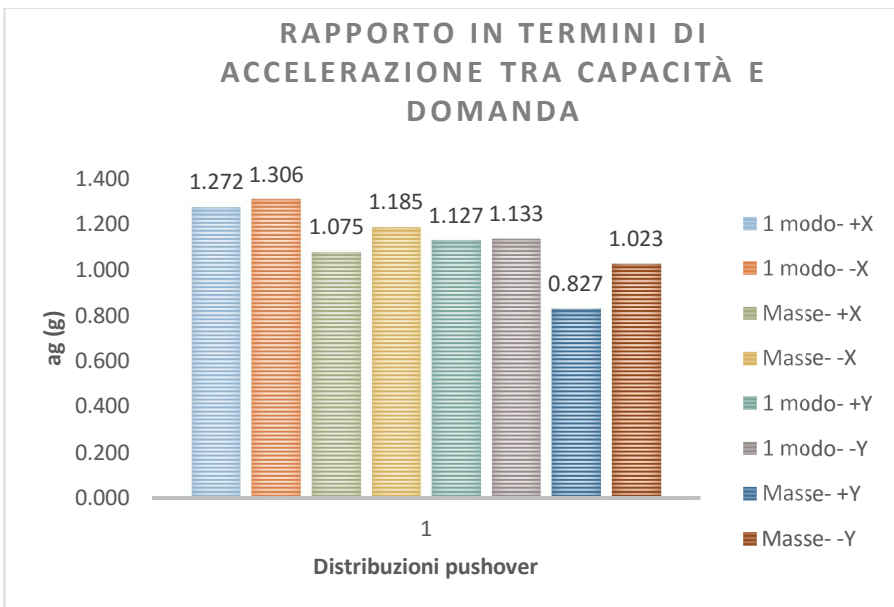
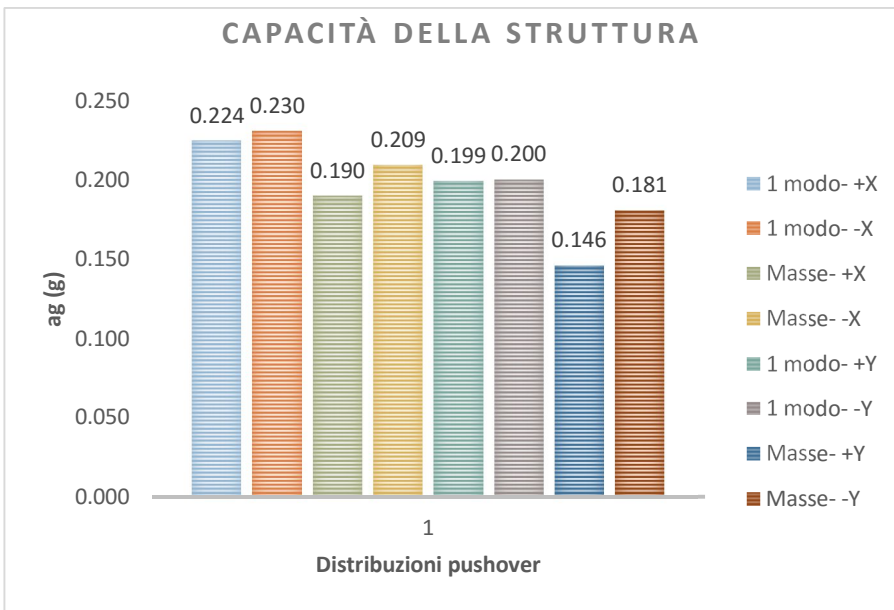
**3 muri**

g	[m/s <sup>2</sup> ]	9.806
TR <sub>D</sub> (domanda)	[anni]	1898
PGA <sub>D</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.621
	[g]	0.267
V <sub>R</sub>	[anni]	200
V <sub>N</sub>	[anni]	100
C <sub>U</sub>		2.0
P <sub>VR-SLV</sub>		0.10
P <sub>VR-SLC</sub>		0.05

		3muri							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	348	523	485	721	258	279	282	538
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.183	0.276	0.256	0.380	0.136	0.147	0.149	0.283
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		0.499	0.590	0.572	0.672	0.441	0.456	0.458	0.596
PGA <sub>C</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.570	1.800	1.770	2.020	1.440	1.440	1.490	1.870
	[g]	0.160	0.184	0.181	0.206	0.147	0.147	0.152	0.191
α PGA <sub>D</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	0.599	0.687	0.675	0.771	0.549	0.549	0.568	0.713
P <sub>VR</sub>	[g]	0.44	0.32	0.34	0.24	0.54	0.51	0.51	0.31
	[%]	43.71	31.78	33.79	24.22	53.94	51.17	50.80	31.05

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	348	523	485	721	258	279	282	538
V <sub>R</sub>	[anni]	36.67	55.10	51.10	75.96	27.18	29.40	29.71	56.68
V <sub>N</sub>	[anni]	18.33	27.55	25.55	37.98	13.59	14.70	14.86	28.34

$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.136
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> - minima		0.441
$\alpha$ PGA- minima		0.549
TR <sub>C</sub> MINIMA	[anni]	258
PGA <sub>C</sub> MINIMA	[g]	0.147
V <sub>N</sub> MINIMA	[anni]	13.59



**2) Aedes- Hyp. 1**

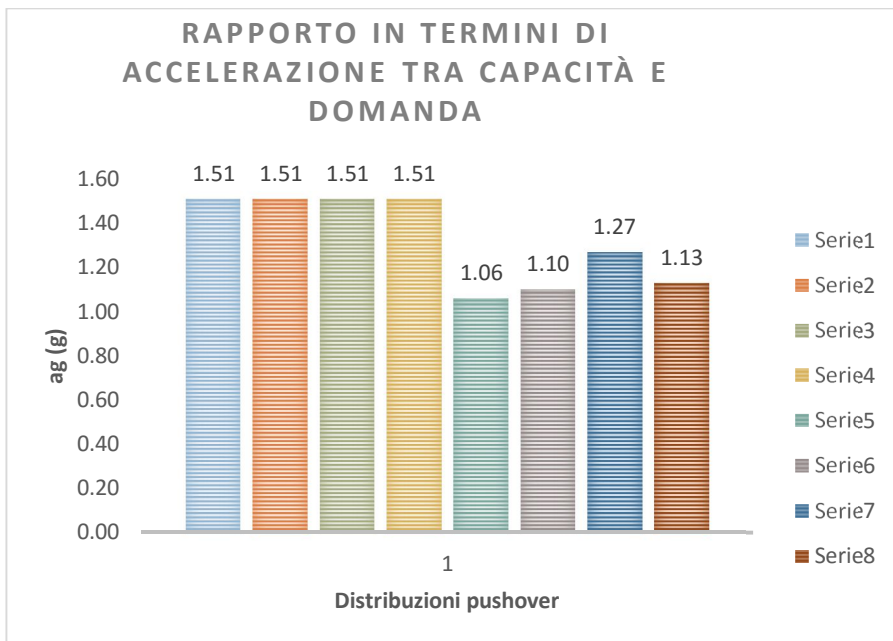
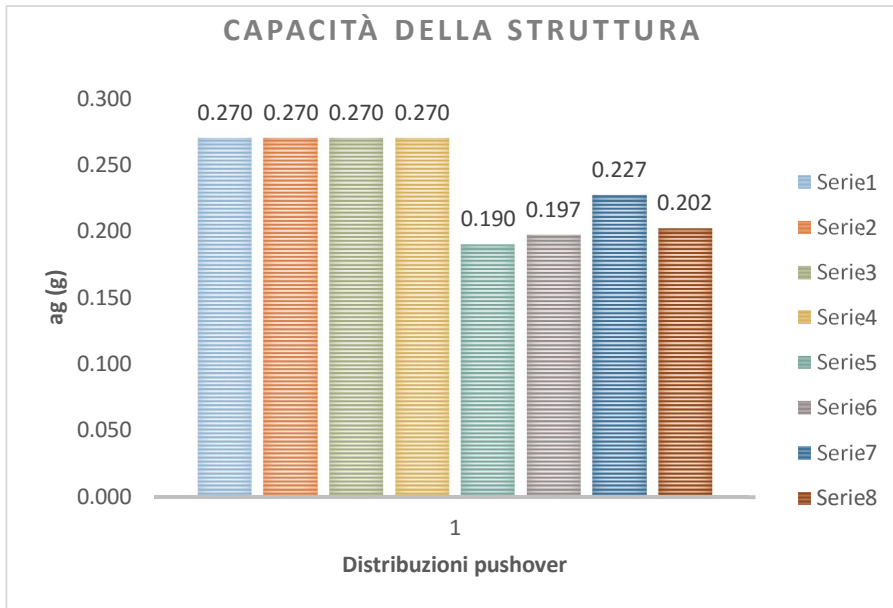
**Aedes**

g	[m/s <sup>2</sup> ]	9.806
TR <sub>D</sub> (domanda)	[anni]	1898
PGA <sub>D</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.638
	[g]	0.269
V <sub>R</sub>	[anni]	200
V <sub>N</sub>	[anni]	100
C <sub>U</sub>		2.0
P <sub>VR-SLV</sub>		0.10
P <sub>VR-SLC</sub>		0.05

**HYP 1**

		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	1079	2475	2475	1079	606	785	712
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		1.30	0.57	1.30	1.30	0.57	0.32	0.41	0.38
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.11	0.79	1.11	1.11	0.79	0.63	0.70	0.67
PGA <sub>C</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.88	2.18	2.88	2.88	1.76	1.79	1.93	1.86
	[g]	0.294	0.222	0.294	0.294	0.179	0.183	0.197	0.190
α PGA		1.09	0.83	1.09	1.09	0.67	0.68	0.73	0.71
P <sub>VR</sub>		0.08	0.17	0.08	0.08	0.17	0.28	0.22	0.24
	[%]	7.76	16.92	7.76	7.76	16.92	28.11	22.49	24.49

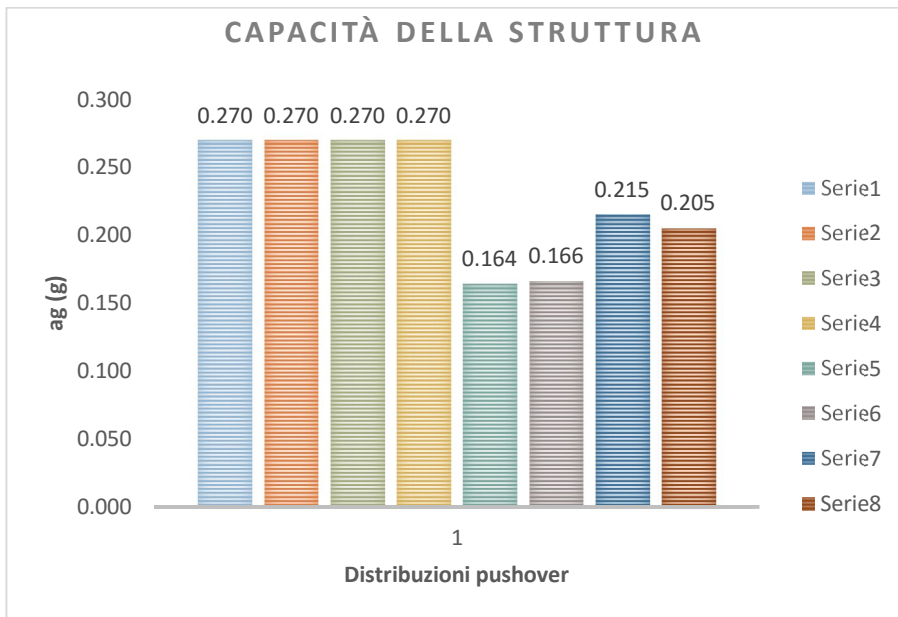
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	1079	2475	2475	1079	606	785	712
V <sub>R</sub>	[anni]	260.77	113.68	260.77	260.77	113.68	63.85	82.71	75.02
V <sub>N</sub>	[anni]	130.38	56.84	130.38	130.38	56.84	31.92	41.35	37.51

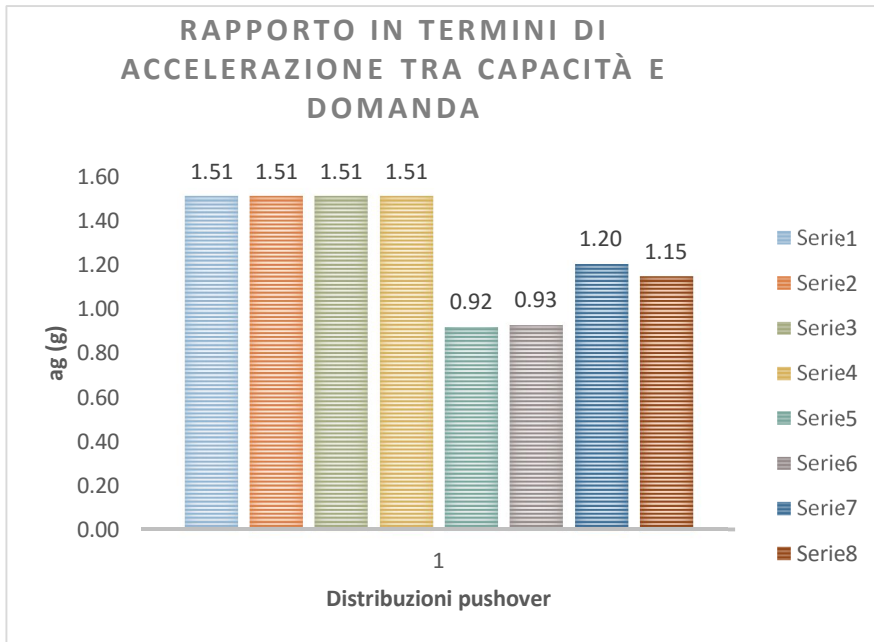


**3) Aedes- Hyp. 2**

		HYP 2							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	862	897	1716	1795	712	702	1228	933
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.45	0.47	0.90	0.95	0.38	0.37	0.65	0.49
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		0.72	0.74	0.96	0.98	0.67	0.67	0.84	0.75
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.01	2.03	2.55	2.59	1.86	1.86	2.27	2.06
	[g]	0.205	0.207	0.260	0.264	0.190	0.190	0.232	0.210
α PGA		0.76	0.77	0.97	0.98	0.71	0.71	0.86	0.78
P <sub>VR</sub>		0.21	0.20	0.11	0.11	0.24	0.25	0.15	0.19
	[%]	20.71	19.99	11.00	10.54	24.49	24.79	15.03	19.29

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	862	897	1716	1795	712	702	1228	933
V <sub>R</sub>	[anni]	90.82	94.51	180.80	189.12	75.02	73.96	129.38	98.30
V <sub>N</sub>	[anni]	45.41	47.25	90.40	94.56	37.51	36.98	64.69	49.15

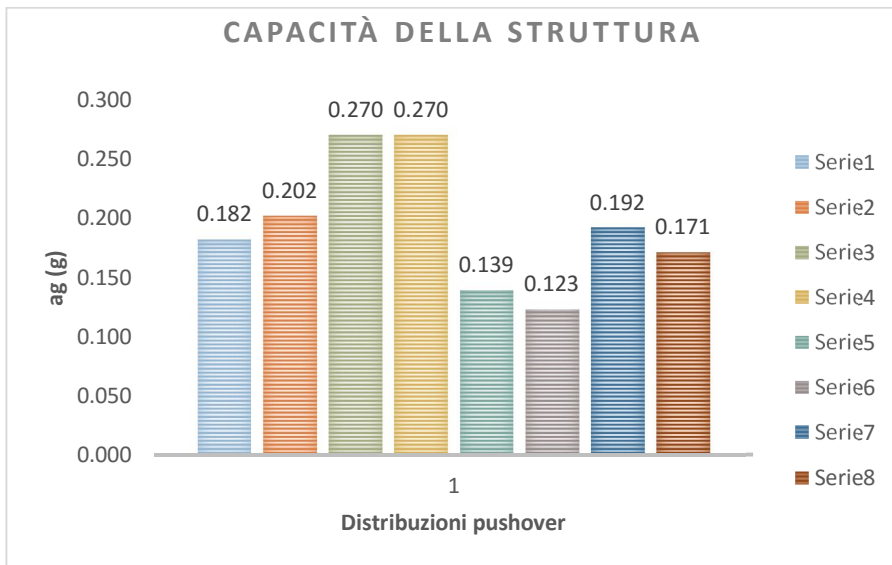


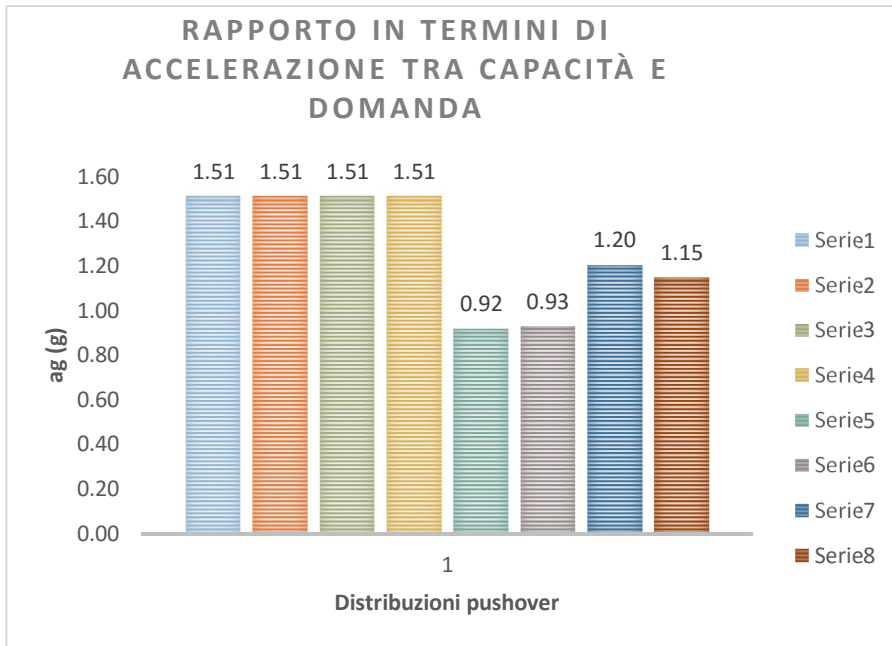


**4) Aedes- Hyp. 3**

		HYP 3							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1897	2475	2475	2475	471	371	1898	1023
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		1.00	1.30	1.30	1.30	0.25	0.20	1.00	0.54
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.00	1.11	1.11	1.11	0.56	0.51	1.00	0.78
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.64	2.88	2.88	2.88	1.61	1.45	2.64	2.14
	[g]	0.269	0.294	0.294	0.294	0.164	0.148	0.269	0.218
α PGA		1.00	1.09	1.09	1.09	0.61	0.55	1.00	0.81
P <sub>VR</sub>		0.10	0.08	0.08	0.08	0.35	0.42	0.10	0.18
	[%]	10.01	7.76	7.76	7.76	34.60	41.67	10.00	17.76

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1897	2475	2475	2475	471	371	1898	1023
V <sub>R</sub>	[anni]	199.87	260.77	260.77	260.77	49.62	39.09	199.97	107.78
V <sub>N</sub>	[anni]	99.93	130.38	130.38	130.38	24.81	19.54	99.99	53.89

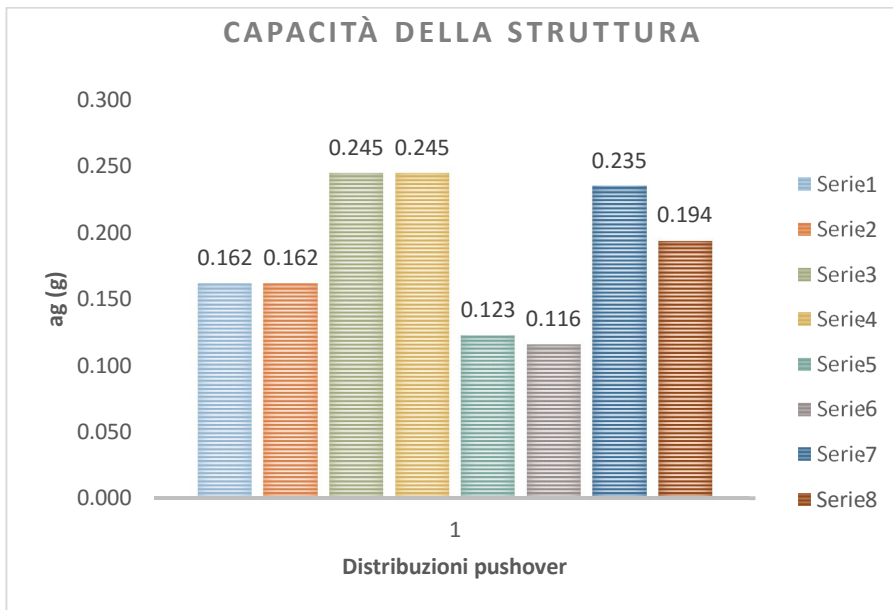


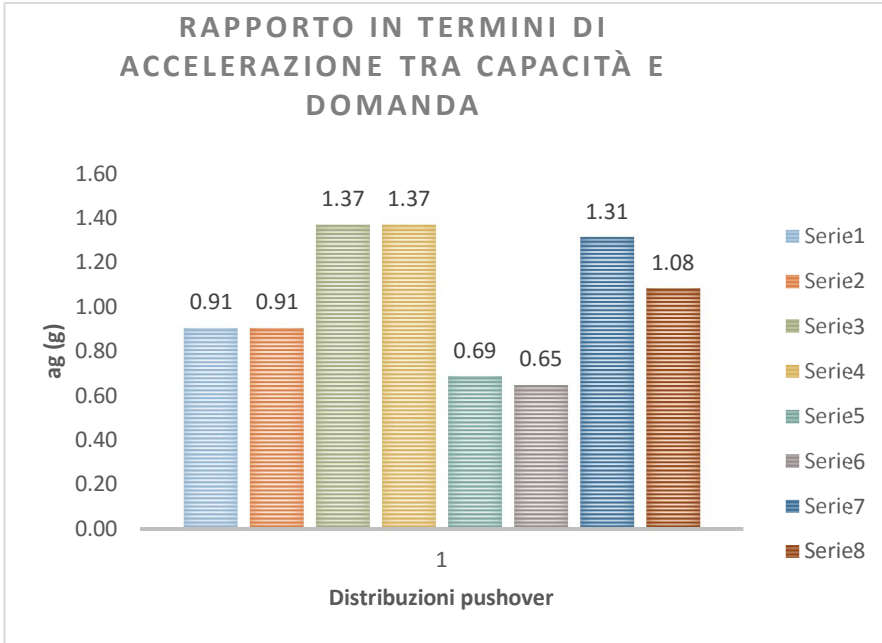


**5) Aedes- Hyp. 4**

		HYP 4							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1441	122	1323	625	597	753	1918	1795
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.76	0.06	0.70	0.33	0.31	0.40	1.01	0.95
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		0.89	0.32	0.86	0.63	0.62	0.68	1.00	0.98
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.40	0.89	2.33	1.78	1.76	1.91	2.65	2.59
	[g]	0.245	0.091	0.238	0.182	0.179	0.195	0.270	0.264
α PGA		0.91	0.34	0.88	0.68	0.67	0.72	1.00	0.98
P <sub>VR</sub>		0.13	0.81	0.14	0.27	0.28	0.23	0.10	0.11
	[%]	12.96	80.59	14.03	27.39	28.47	23.33	9.90	10.54

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1441	122	1323	625	597	753	1918	1795
V <sub>R</sub>	[anni]	151.82	12.85	139.39	65.85	62.90	79.34	202.08	189.12
V <sub>N</sub>	[anni]	75.91	6.43	69.70	32.93	31.45	39.67	101.04	94.56





Si propone una tabella riassuntiva delle peggiori condizioni riscontrate.

		HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4
		1 modo- Y	1 modo- Y	1 modo- -Y	1 modo- -Y
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.319	0.370	0.195	0.064
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		0.626	0.665	0.512	0.325
$\alpha$ PGA-minima		0.665	0.706	0.550	0.338
TR <sub>C</sub> MINIMA	[anni]	606	702	371	122
PGA <sub>C</sub> MINIMA	[g]	0.179	0.190	0.148	0.091
V <sub>N</sub> MINIMA	[anni]	31.92	36.98	19.54	6.43

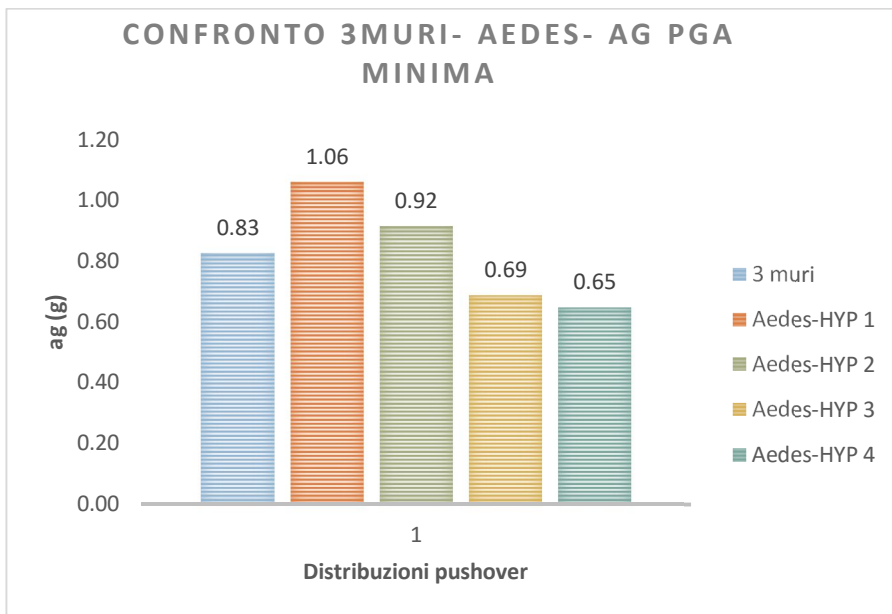
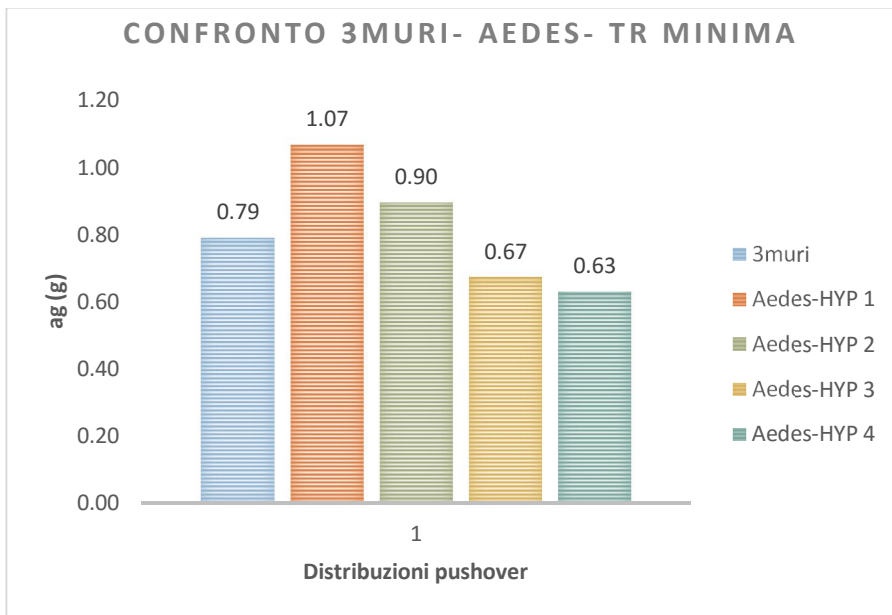
## 6) Confronto

### Comparazione

		3 muri	Aedes				Differenze			
			HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
PGA <sub>C</sub>	[g]	0.15	0.18	0.19	0.15	0.09	-21.89	29.38	0.78	-38.03
PGA <sub>D</sub>		0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64
$\alpha$ PGA- minima		0.55	0.67	0.71	0.55	0.34	-21.12	-28.56	-0.14	38.43

### Comparazione

		3 muri	Aedes				Differenze			
			HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
$\alpha$ PGA- minima		0.55	0.67	0.71	0.55	0.34	-21.12	-28.56	-0.14	38.43
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.14	0.32	0.37	0.20	0.06	-134.88	-172.09	-43.80	52.71
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> -minima		0.44	0.63	0.67	0.51	0.32	-41.92	-50.74	-16.06	26.44



#### 6.4.4 Analisi semplificata per valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale

Alle analisi pushover sono state affiancate anche le valutazioni mediante metodo semplificato LV1 proposto dalle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale; tale valutazione è stata svolta avvalendosi del software Aedes e secondo le quattro ipotesi di vincolamento già esposte; si riportano i valori ottenuti.

## Verifica semplificata per Ville e Palazzi DPCM 9-2-2011

		Aedes- HYP 1	Aedes- HYP 2	Aedes- HYP 3	Aedes- HYP 4
Peso sismico totale	[kN]	27628.990	27628.990	27628.990	27628.990
Periodo proprio	[s]	0.411	0.411	0.411	0.411
q		2.800	2.800	2.800	2.800

Collasso		Uniforme II piano in Y	Uniforme II piano in Y	Uniforme II piano in Y	Uniforme II piano in Y
----------	--	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

#### Spettro di progetto

Domanda	[g]	0.30	0.30	0.30	0.30
Capacità	[g]	0.07	0.07	0.09	0.09

#### PGA

Domanda	[g]	0.27	0.27	0.27	0.27
Capacità	[g]	0.05	0.05	0.07	0.06

#### TR

Domanda	[anni]	1898.00	1898.00	1898.00	1898.00
Capacità	[anni]	37.00	37.00	67.00	57.00

#### Indicatori rischio sismico

$\alpha$ PGA- minima		0.19	0.19	0.26	0.24
$\alpha$ TR (TR <sub>c</sub> /TR <sub>b</sub> )		0.02	0.02	0.04	0.03
$\alpha$ TR (TR <sub>c</sub> /TR <sub>b</sub> ) <sup>0.41</sup> -minima		0.20	0.20	0.25	0.24

Si evidenziano valori degli indici di sicurezza in generale inferiori a quelli ottenuti con l'analisi pushover come atteso, essendo la valutazione speditiva basata sull'analisi sismica lineare che risulta cautelativa rispetto all'analisi pushover.

Le analisi colgono univocamente il tipo di vulnerabilità che porta al collasso indicando come condizione peggiore il collasso per piano soffice del secondo piano in direzione y e come riscontrato anche dal lesionamento provocato dal sisma del 2012.

Si riporta la tabella comparativa tra i valori determinati per l'analisi pushover e per la valutazione speditiva, la variazione massima è del 74%.

	Aedes- pushover				Aedes LV1				Differenze			
	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
a PGA-minima	0.67	0.71	0.55	0.34	0.19	0.19	0.26	0.24	72.07	73.68	52.70	29.67

Si riporta infine nella tabella un confronto tra i valori ottenuti dalla pushover in 3muri confrontati con la media dei valori determinati dalle analisi di pushover in Aedes e la media dei valori determinati dall'analisi speditiva in Aedes, si nota una variazione tra i primi due termini inferiore al 3% e nel secondo pari al 61%.

	3muri	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA
				%	%
a PGA- minima	0.55	0.57	0.22	-2.85	60.42

#### 6.4.5 Commento alle analisi

Per quanto riguarda le analisi pushover, le differenze riscontrate in fase di analisi evidenziano quanto segue:

- 1) Per il taglio alla base le differenze non sono mai superiori al 40%, in particolare se si considerano solo le ipotesi in Aedes in cui i nodi sono vincolati nel piano si riducono al 33%;
- 2) Per la massa partecipante le differenze sono pari al 11% in direzione x e al 12% in direzione y;
- 3) Per lo spostamento ultimo si evidenziano variazioni massime del 68%;
- 4) Per il valore di  $q^*$  le variazioni sono nell'ordine del 40%;
- 5) Per il fattore di partecipazione modale si ha una variabilità di circa il 50% in entrambe le direzioni;
- 6) Per le rigidezze si evidenzia una variazione massima pari al 103%;
- 7) Per quanto riguarda il valore delle accelerazioni di capacità della struttura si nota una variazione massima del 38%; la differenza minima tra i valori determinati dai due programmi si fa nel caso dell'ipotesi 2 ed è del 29%;
- 8) Gli indici di sicurezza calcolati come rapporto tra le accelerazioni di picco di capacità e domanda, rapporto tra il tempo di ritorno di capacità e domanda elevato allo 0.41 in modo

da poterlo confrontare con il rapporto in termini di accelerazione hanno variazioni massime pari a rispettivamente al 38% ed al 51%.

Si riporta una tabella riassuntiva delle massime variazioni calcolate.

	A,+X	A,-X	E,+X	E-X	A,+Y	A,-Y	E,+Y	E,-Y	Valori massimi
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
m*	10.98				12.24				12.24
Γ	50.16				48.68				50.16
Taglio alla base	30.91	33.07	24.65	27.95	27.52	40.27	13.95	28.27	40.27
d <sub>u</sub> (capacità)	47.70	51.18	18.47	19.63	47.46	48.85	68.38	62.96	68.38
d <sub>max</sub> (domanda)	55.89	51.85	61.78	58.52	56.98	59.76	60.47	59.87	61.78
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>	98.09	74.85	146.31	165.62	67.22	56.44	25.20	69.23	165.62
q*	35.85	39.95	38.14	40.95	28.79	16.04	43.02	27.45	43.02
T*	29.84	24.73	32.86	25.10	29.57	33.81	32.48	32.48	33.81
k*	84.19	60.04	101.13	61.60	79.89	103.23	95.32	95.32	103.23
F <sub>y</sub> *	40.09	49.62	45.35	52.22	32.31	10.11	61.67	26.99	61.67
d <sub>y</sub> *	39.51	58.04	40.95	47.40	46.23	50.24	84.69	52.62	84.69
d <sub>u</sub> *	94.02	68.92	73.02	70.87	46.37	57.03	52.36	73.55	94.02
Energia dissipata	133.95	155.40	173.01	168.47	79.22	80.92	90.44	123.96	173.01

**Comparazione**

	3 muri	Aedes				Differenze			
		HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
α PGA- minima	0.55	0.67	0.71	0.55	0.34	-21.12	-28.56	-0.14	38.43
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )	0.14	0.32	0.37	0.20	0.06	-134.88	-172.09	-43.80	52.71
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> -minima	0.44	0.63	0.67	0.51	0.32	-41.92	-50.74	-16.06	26.44

Le analisi hanno evidenziato che si ottiene un'estrema variabilità di valori indagati, il valore dell'indice di sicurezza tuttavia presenta una variabilità massima del 38%, che risente della variabilità del valore della rigidezza ed in ultima analisi delle differenze legate al taglio alla base qui pari al 40%.

Come evidenziato dai manuali d'uso dei programmi e verificato durante l'analisi del Padigione Morselli la modellazione di Aedes che teoricamente più si avvicina a quella di 3muri e quella che ipotizza i nodi vincolati a muoversi nel piano e zone rigide con diffusione a 30° tuttavia nel caso in esame occorre fare un'ulteriore considerazione riportata nel seguito.

Si evidenzia riguardo al fatto che in generale Aedes appare sovrastimare gli indici di sicurezza per il vincolamento ipotizzato e verificato in occasione dell'ultimo sisma del 2012 che esso sia da collegare al diverso tipo di modellazione che i due software propongono per il piano di copertura.

In particolare è necessario evidenziare che in 3muri che qualora vi sia una disomogeneità nelle altezze dei maschi determinata dall'inclinazione della copertura, a causa dell'impossibilità di valutare l'assemblaggio delle rigidezze flessionali per maschi contigui, si creano situazioni di conflitto nella valutazione delle resistenze ed è opportuno modellare tale porzione come solo carico, aspetto che la esclude dalla stima dei valori di capacità; in tale modo tuttavia vengono a mancare elementi resistenti nell'analisi condotta in 3muri ed è per tale motivo che l'indice di sicurezza appare in tal caso inferiore.

Per quanto concerne le analisi speditive LV1 si può affermare che colgono univocamente il tipo di vulnerabilità che porta al collasso identificandolo con il collasso per piano soffice del secondo piano in direzione y; tale criticità si rivela correttamente individuata in quanto le lesioni occorse in occasione del sisma del 2012 sono riconducibili ad una minore efficacia in direzione y della capacità della struttura di resistere al sisma.

Si riporta la tabella comparativa tra i valori determinati per l'analisi pushover e per la valutazione speditiva, la variazione massima è del 74%

	Aedes- pushover				Aedes LV1				Differenze			
	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
a PGA-minima	0.67	0.71	0.55	0.34	0.19	0.19	0.26	0.24	72.07	73.68	52.70	29.67

Si riporta infine nella tabella un confronto tra i valori ottenuti dalla pushover in 3muri confrontati con la media dei valori determinati dalle analisi di pushover in Aedes e la media dei valori determinati dall'analisi speditiva in Aedes, si nota una variazione tra i primi due termini inferiore all'3% e nel secondo pari al 60%.

Si può supporre che la scarsa differenza evidenziata tra la media dei valori ottenuti con il programma Aedes ed i valori di 3muri non sia casuale ma possa essere riferita che nella realtà i nodi delle strutture hanno un comportamento intermedio tra quelli assunti come estremi teorici (perfetto vincolamento e nodo libero) e qui indagati.

	3muri	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA
				%	%
a PGA- minima	0.55	0.57	0.22	-2.85	60.42

Si può quindi affermare che meno regolare appare la conformazione plano- altimetrica dell'edificio maggiore difficoltà hanno i programmi nel fornire una valutazione uniforme in particolare si rimarca l'importanza di verificare sul campo il reale comportamento dimostrato dalla struttura per validare o meno le ipotesi alla base della modellazione.

## 6.5 LICEO SCIENTIFICO G. MARCONI, SEDE VIA GIOIA, PARMA

### 6.5.1 Descrizione della struttura esistente

Sito in Via Costituente, l'edificio in esame occupa una posizione di primo piano all'interno del centro storico di Parma.



Dalla foto aerea precedente è facile intuire come l'edificio si presenta come edificio isolato. In particolare, è inserito all'interno di un isolato che occupa l'area delimitata ad est da Vicolo Flavio Gioia, ad Sud e ad Ovest da Borgo Paglia, a Nord da Via Costituente.

Data la sua cospicua estensione, la costruzione risulta chiaramente distinguibile e facilmente individuabile rispetto alle altre costruzioni limitrofe come è facile osservare dalla figura sottostante.



La Intergeo S.r.l. di Modena ha proceduto ad effettuare una indagine geognostica a mezzo di prove penetrometriche in corrispondenza del cortile interno dell'edificio in esame.

Per i terreni in oggetto, nell'area sulla quale è previsto l'intervento in progetto, fino ai 30 m di profondità, tenuto conto dei risultati ottenuti,  $V_{s30}$  pari a 291,08 m/sec, si definisce una categoria di suolo di fondazione di tipo C, riferibile a Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa).

Il suolo di fondazione dell'edificio è caratterizzato da condizioni topografiche tipo T1, così come definite nel decreto ministeriale del 14 gennaio 2008.

### 1) Descrizione generale della struttura

L'edificio nasce intorno agli anni '50. Presenta una pianta piuttosto semplice a forma di C; è caratterizzato da un piano seminterrato, destinato ad ospitare locali tecnici ed una sala riunioni, un piano rialzato ed un piano primo completamente utilizzati per attività scolastiche.

L'involucro strutturale è quasi interamente realizzato in muratura portante, con solai in laterizio e profili metallici all'interrato ed in latero-cemento al piano rialzato. Sono presenti dei telai in c.a. al piano terra, attualmente tamponati con laterizi semipieni. Non è presente il solaio tra il primo piano e la copertura, ad eccezione della zona del corridoio e dei servizi igienici. La copertura in legno è sostenuta da un sistema di pilastri in muratura poggianti sui pannelli murari sottostanti. E' presente un cordolo in c.a. di coronamento delle murature perimetrali in corrispondenza dell'imposta della copertura.

Non sono stati molti gli interventi effettuati negli anni al suo interno. Le modifiche nella struttura muraria sono state relative principalmente all'apertura di nuovi vani ed alla chiusura di altri, probabilmente per esigenze distributive interne. La modifica principale è quella che riguarda l'eliminazione di un intero pannello murario al piano primo, con conseguente realizzazione di un telaio in c.a. a sostegno dei pilastri in muratura presenti nel sottotetto.

Il giorno 26 gennaio 2012, a seguito dell'evento sismico verificatosi nei giorni precedenti, il fabbricato è stato oggetto di sopralluogo da parte dei tecnici della Protezione Civile. In conclusione del sopralluogo è stata compilata una Scheda AeDES di 1° livello di rilevamento del danno dalla quale si evince che il danno riscontrato nelle strutture verticali e nei tramezzi risultava essere di livello leggero. Il rischio per gli elementi strutturali e non strutturali è stato valutato basso, pertanto l'edificio è stato dichiarato agibile. Si consigliava, tuttavia, di eseguire il controllo delle strutture di sostegno dei controsoffitti ed il controllo del ribaltamento delle pareti non portanti, puntualmente eseguito nell'ottobre 2012.

Vengono riassunte le principali vulnerabilità riscontrate all'epoca nell'edificio sia nei confronti dei carichi statici che di quelli sismici:

- Distacco di alcuni pannelli ancorati al secondo solaio, che vanno a gravare sulle lastre del controsoffitto;



- Distacchi di alcune porzioni del sistema di sostegno del controsoffitto, non adeguatamente vincolate al solaio sovrastante (primo solaio);
- Presenza al secondo piano di pareti murarie non vincolate in testa da alcun solaio; inoltre dalle suddette pareti sorgono pilastri in muratura non controventati a sostegno della copertura: le fessure riscontrate sulle pareti hanno indotto ad ipotizzare il principio di un

meccanismo di collasso a ribaltamento che ha rappresentato la principale vulnerabilità dell'edificio.



2) Esito del rilievo geometrico-strutturale e sintesi delle vulnerabilità riscontrate

L'analisi storico-critica ed il rilievo geometrico-strutturale dell'edificio hanno permesso di approfondire i seguenti aspetti:

- 1) Le strutture presentano un quadro di degrado e/o fessurativo modesto.

Al piano seminterrato non sono visibili lesioni significative.

Al piano terra sono presenti alcune lesioni in corrispondenza dei nodi tra pareti portanti e pareti in laterizi semipieni ed in corrispondenza di aperture precedentemente chiuse. Sono inoltre presenti lesioni in corrispondenza di alcuni campi di solaio, con andamento parallelo alla direzione di orditura e lesioni verticali di modesta entità su alcuni pannelli murari portanti.

Al piano primo sono visibili alcune lesioni verticali e orizzontali nella parte superiore delle pareti murarie.

- 2) Le strutture non presentano modificazioni significative rispetto alla situazione originaria. L'assetto strutturale dell'edificio è rimasto sostanzialmente immutato, ad eccezione di alcune nuove aperture per porte e del taglio di una intera parete al piano primo con conseguente inserimento di un telaio in c.a..
- 3) La costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- 4) Manca il solaio di interpiano che divide il piano primo dal sottotetto, i maschi murari del piano primo non sono incolati in sommità.

Progettazione dell'edificio inadeguata rispetto alle azioni orizzontali:

La progettazione dell'edificio è stata eseguita senza tenere conto del comportamento dinamico della struttura soggetta a input sismici. Dai rilievi eseguiti si evidenzia come siano stati presi in considerazione i soli carichi verticali a cui sono soggetti gli elementi strutturali.

L'assenza di opportuni accorgimenti sia dal punto di vista progettuale che tecnico ha fatto sì che questo schema di calcolo risulti inadeguato a rappresentare le effettive condizioni di esercizio della struttura sotto l'azione di forze orizzontali.

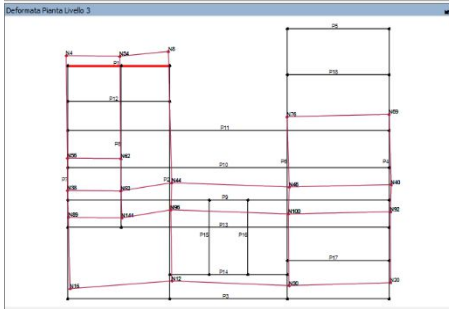
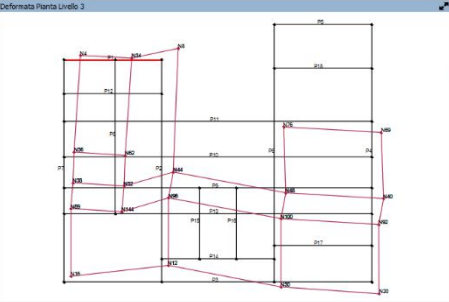
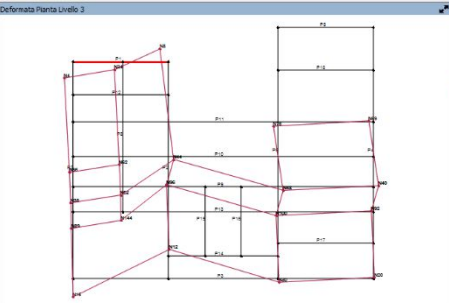
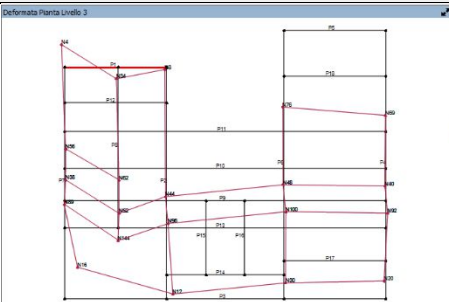
Le verifiche in situ sono limitate sia per quanto riguarda i dettagli costruttivi sia per quanto riguarda le proprietà dei materiali, si ritiene, pertanto, che le indagini sperimentali e di rilievo svolte siano sufficienti a garantire il raggiungimento solo del livello di conoscenza LC1, caratterizzato da un fattore di confidenza pari a  $FC=1.35$ .

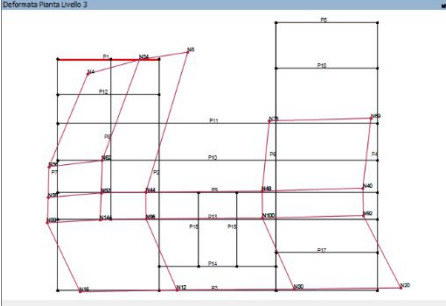
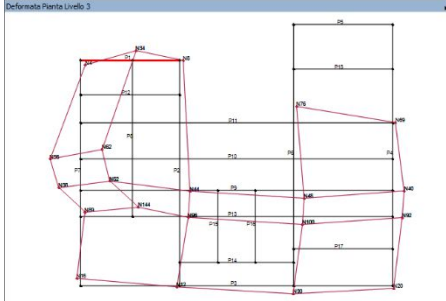
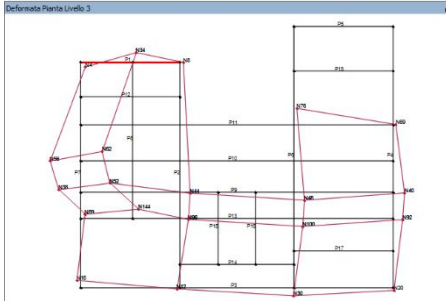
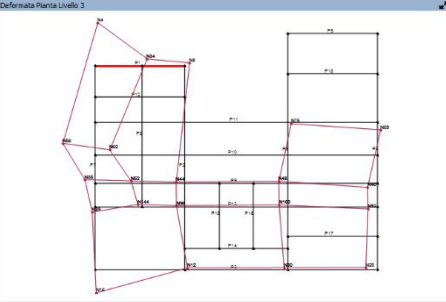
In particolare sarà possibile utilizzare i seguenti parametri meccanici per la muratura (muratura in mattoni pieni e malta di calce):

$$f_m = 240 \text{ N/cm}^2$$

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

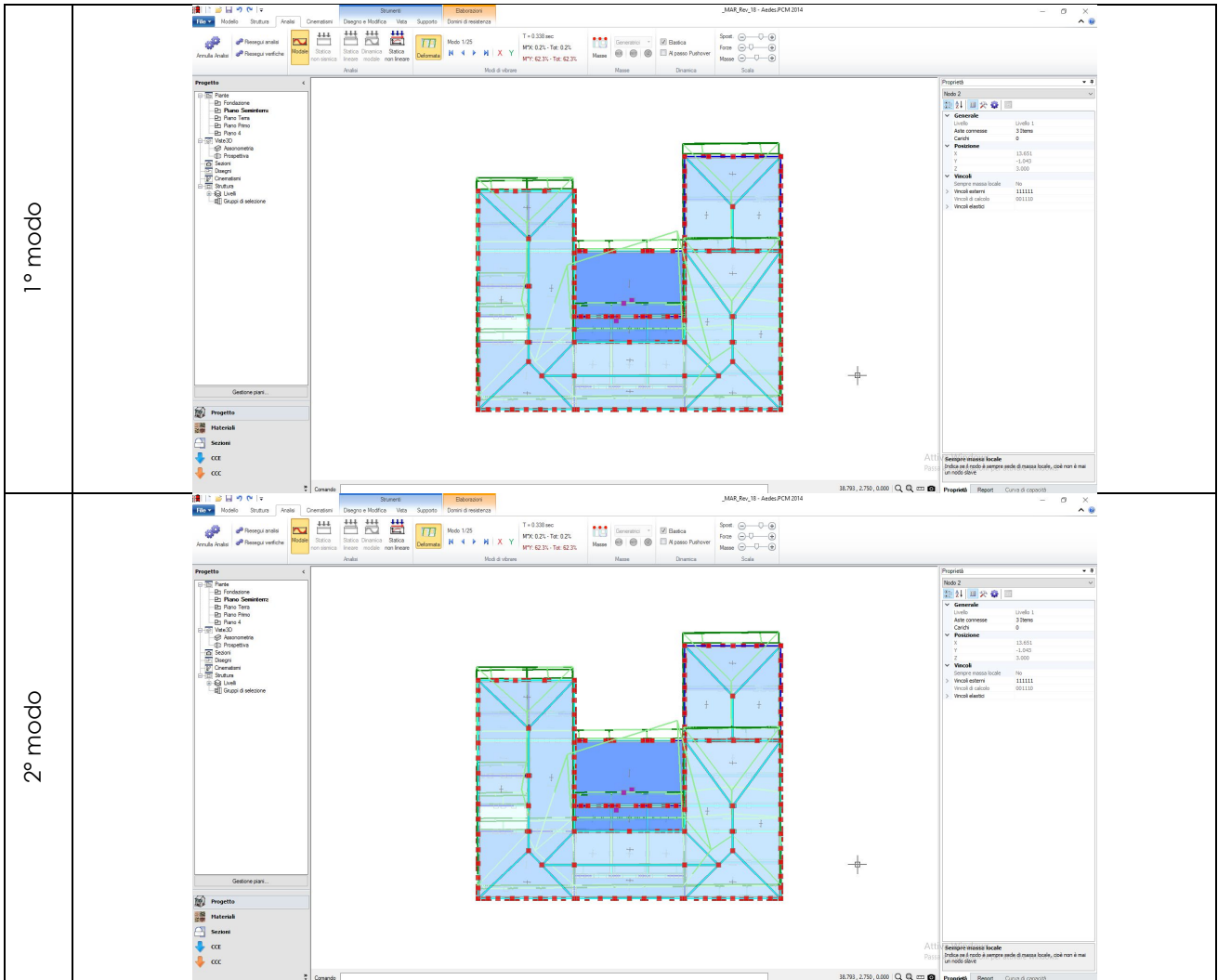
6.5.2 Analisi modale  
4) 3muri

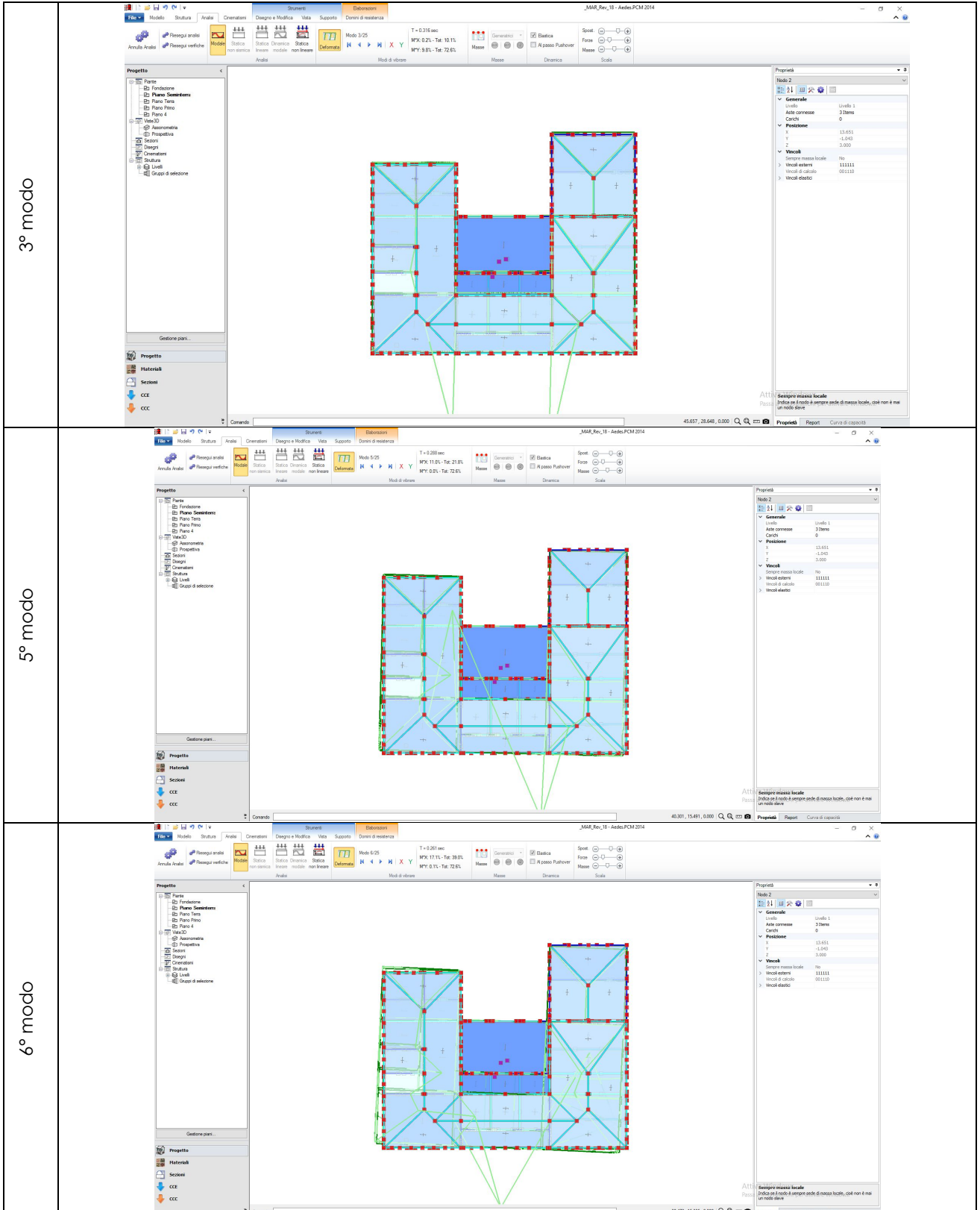
1° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17351</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											
2° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17351</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											
3° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17351</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											
4° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17351</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											
7° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th>mx [kg]</th> <th>Mx [%]</th> <th>my [kg]</th> <th>My [%]</th> <th>mz [kg]</th> <th>Mz [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17351</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17351	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											

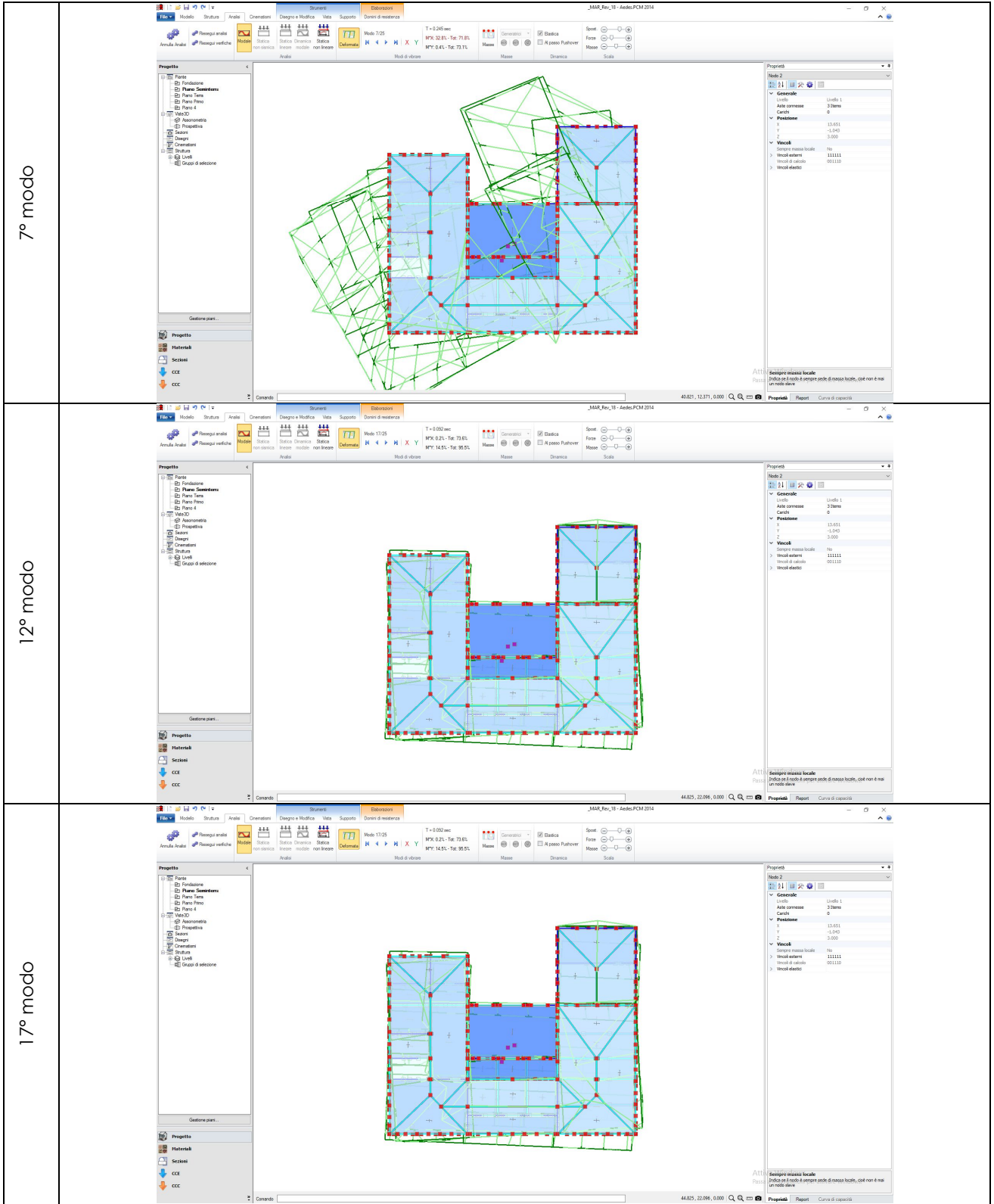
8° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17551</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											
12° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17551</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											
13° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17551</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											
14° modo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modo</th> <th>T [s]</th> <th><math>m_x</math> [kg]</th> <th><math>M_x</math> [%]</th> <th><math>m_y</math> [kg]</th> <th><math>M_y</math> [%]</th> <th><math>m_z</math> [kg]</th> <th><math>M_z</math> [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.34776</td><td>1,946</td><td>0.08</td><td>1,557,915</td><td>63.26</td><td>62</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.28164</td><td>565,367</td><td>22.96</td><td>12,830</td><td>0.52</td><td>254</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.26464</td><td>1,012,043</td><td>41.09</td><td>3,030</td><td>0.12</td><td>137</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.22206</td><td>95,976</td><td>3.90</td><td>86,664</td><td>3.52</td><td>234</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.17551</td><td>2,280</td><td>0.09</td><td>1,735</td><td>0.07</td><td>859</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.16208</td><td>10,187</td><td>0.41</td><td>1,856</td><td>0.08</td><td>126</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.14520</td><td>2,022</td><td>0.08</td><td>90,175</td><td>3.66</td><td>1,093</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.13916</td><td>60,351</td><td>2.45</td><td>578</td><td>0.02</td><td>2,293</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.12801</td><td>5,720</td><td>0.23</td><td>3,301</td><td>0.13</td><td>13</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.12023</td><td>47</td><td>0.00</td><td>239</td><td>0.01</td><td>8,675</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.11782</td><td>1,047</td><td>0.04</td><td>5,398</td><td>0.22</td><td>4,479</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.11499</td><td>626</td><td>0.03</td><td>90</td><td>0.00</td><td>63,613</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.10708</td><td>31,075</td><td>1.26</td><td>913</td><td>0.04</td><td>263</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.10566</td><td>36,601</td><td>1.49</td><td>3,268</td><td>0.13</td><td>3,389</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.09993</td><td>15,038</td><td>0.61</td><td>4,245</td><td>0.17</td><td>8,462</td><td>0.34</td></tr> </tbody> </table>	Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]	1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00	2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01	3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01	4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01	5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03	6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01	7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04	8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09	9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00	10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35	11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18	12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58	13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01	14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14	15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34
Modo	T [s]	$m_x$ [kg]	$M_x$ [%]	$m_y$ [kg]	$M_y$ [%]	$m_z$ [kg]	$M_z$ [%]																																																																																																																											
1	0.34776	1,946	0.08	1,557,915	63.26	62	0.00																																																																																																																											
2	0.28164	565,367	22.96	12,830	0.52	254	0.01																																																																																																																											
3	0.26464	1,012,043	41.09	3,030	0.12	137	0.01																																																																																																																											
4	0.22206	95,976	3.90	86,664	3.52	234	0.01																																																																																																																											
5	0.17551	2,280	0.09	1,735	0.07	859	0.03																																																																																																																											
6	0.16208	10,187	0.41	1,856	0.08	126	0.01																																																																																																																											
7	0.14520	2,022	0.08	90,175	3.66	1,093	0.04																																																																																																																											
8	0.13916	60,351	2.45	578	0.02	2,293	0.09																																																																																																																											
9	0.12801	5,720	0.23	3,301	0.13	13	0.00																																																																																																																											
10	0.12023	47	0.00	239	0.01	8,675	0.35																																																																																																																											
11	0.11782	1,047	0.04	5,398	0.22	4,479	0.18																																																																																																																											
12	0.11499	626	0.03	90	0.00	63,613	2.58																																																																																																																											
13	0.10708	31,075	1.26	913	0.04	263	0.01																																																																																																																											
14	0.10566	36,601	1.49	3,268	0.13	3,389	0.14																																																																																																																											
15	0.09993	15,038	0.61	4,245	0.17	8,462	0.34																																																																																																																											

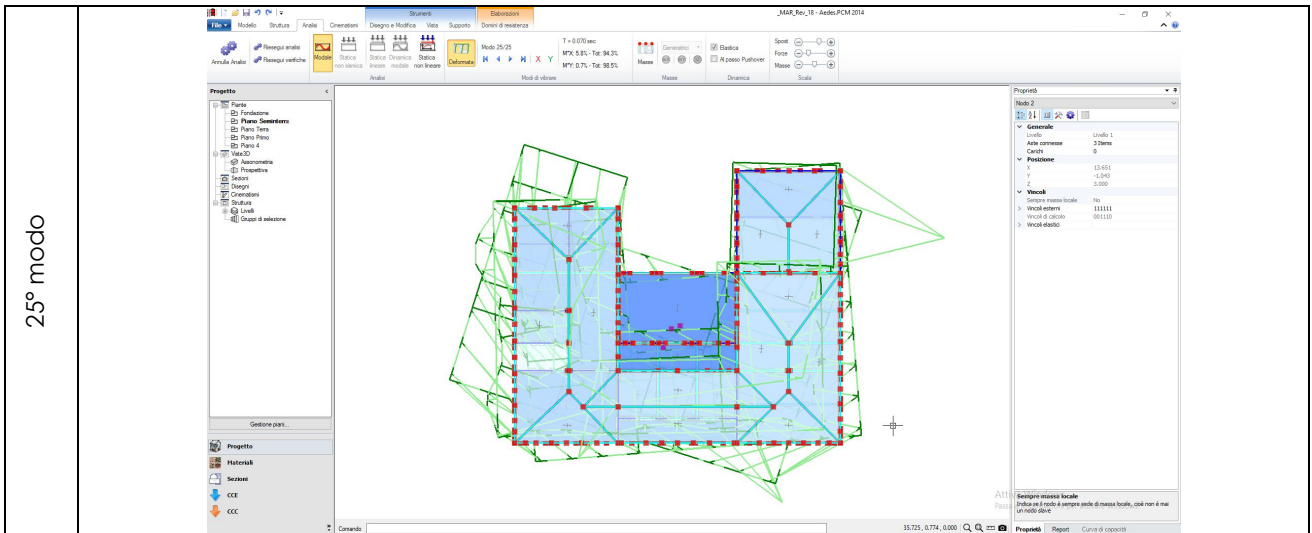
### 5) Aedes PCM

Si riporta l'analisi modale eseguita per l'ipotesi che presenta i nodi privi dell'impedimento a ruotare fuori dal piano e zone rigide corrispondenti alle aree di intersezione tra maschi e fasce, non si rilevano tuttavia tra le diverse modellazioni differenze per quanto riguarda i modi di vibrare, i periodi e le masse partecipanti ai singoli modi.









### 6) Comparazione analisi modale

Si riportano i valori ottenuti per le analisi svolte ed il loro confronto.

3 muri				
	T	Mx	My	Mz
Modo	[s]	[%]	[%]	[%]
1	0.34776		63.26	
2	0.28164	22.96		
3	0.26464	41.09		
4	0.22206	3.90	3.52	
7	0.14520		3.66	
8	0.13916	2.45		
12	0.11499			2.58
13	0.10708	1.26		32.51
14	0.10566	1.49		9.20
		73.15	70.44	44.29

## Aedes

	T	Mx	My
Modo	[s]	[%]	[%]
1	0.338	0.20	62.30
2	0.325	9.70	0.50
3	0.316	0.20	9.80
5	0.288	11.00	0.00
6	0.261	17.10	
7	0.245	32.80	0.40
17	0.092	0.20	14.50
21	0.079	7.70	
25	0.070	5.80	0.70
		84.70	88.20

## Differenze

	T- 3muri	T- Aedes	$\Delta T$	$\Delta T \%$
Modo	[s]	[s]	[s]	[%]
1	0.34776	0.33800	0.01	2.81
2	0.28164	0.32500	-0.04	-15.40
3	0.26464	0.31600	-0.05	-19.41
6	0.22206	0.28800	-0.07	-29.69
7	0.14520	0.26100	-0.12	-79.75
9	0.13916	0.24500	-0.11	-76.06
10	0.11499	0.09200	0.02	19.99
11	0.10708	0.07900	0.03	26.22
12	0.10566	0.07000	0.04	33.75

In prima istanza l'analisi modale evidenzia un buon accordo su periodo e massa in direzione y in cui la deformata è prevalentemente dovuta a traslazione non altrettanto simili di rivelano i dati forniti in direzione x.

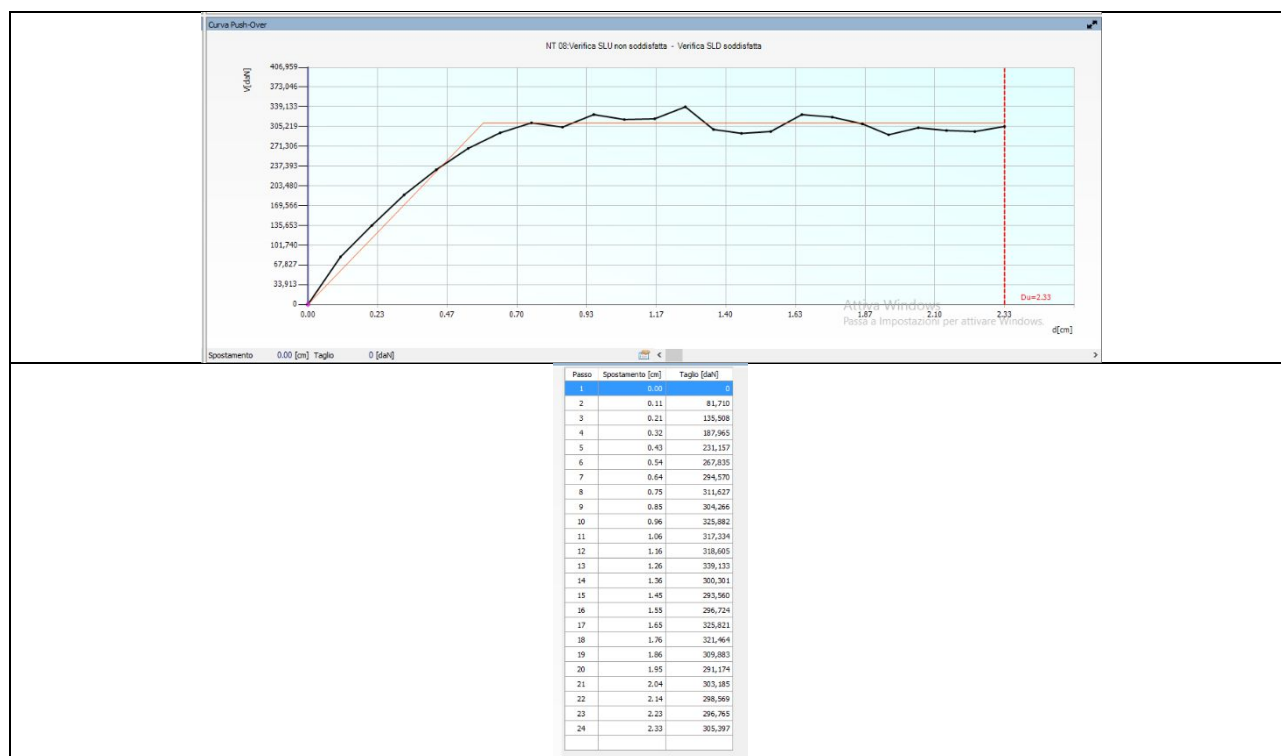
### 6.5.3 Analisi pushover

#### 3) Distribuzione proporzionale alle forze statiche

##### a. Analisi pushover in direzione +x

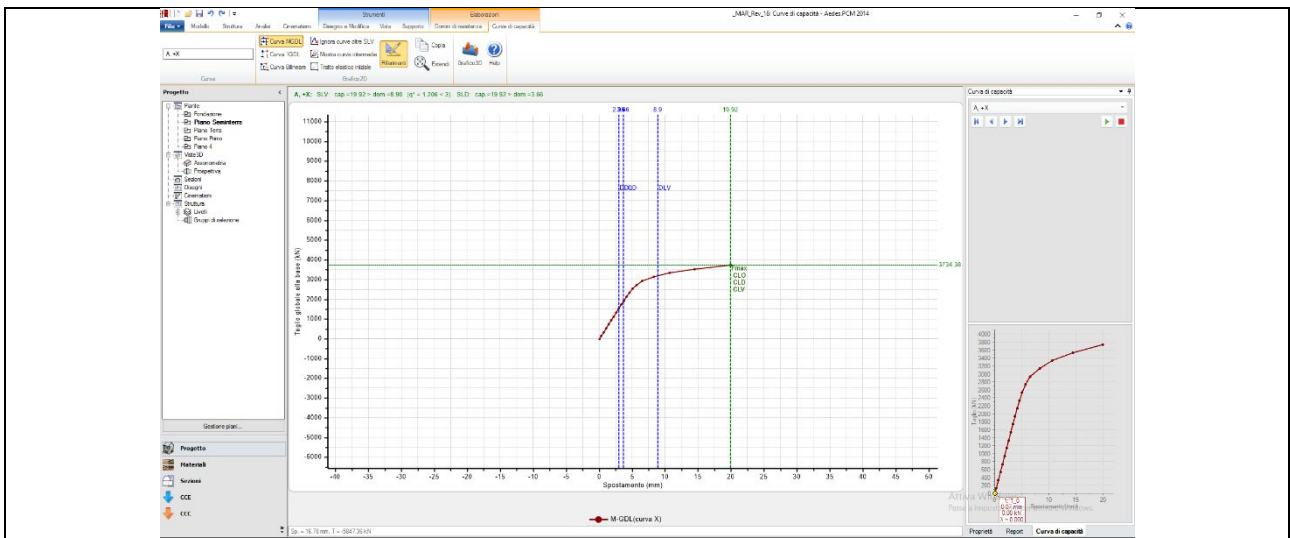
Nel seguito si riporta la sequenza di danneggiamento della struttura per sisma in direzione +x.

##### i. 3muri

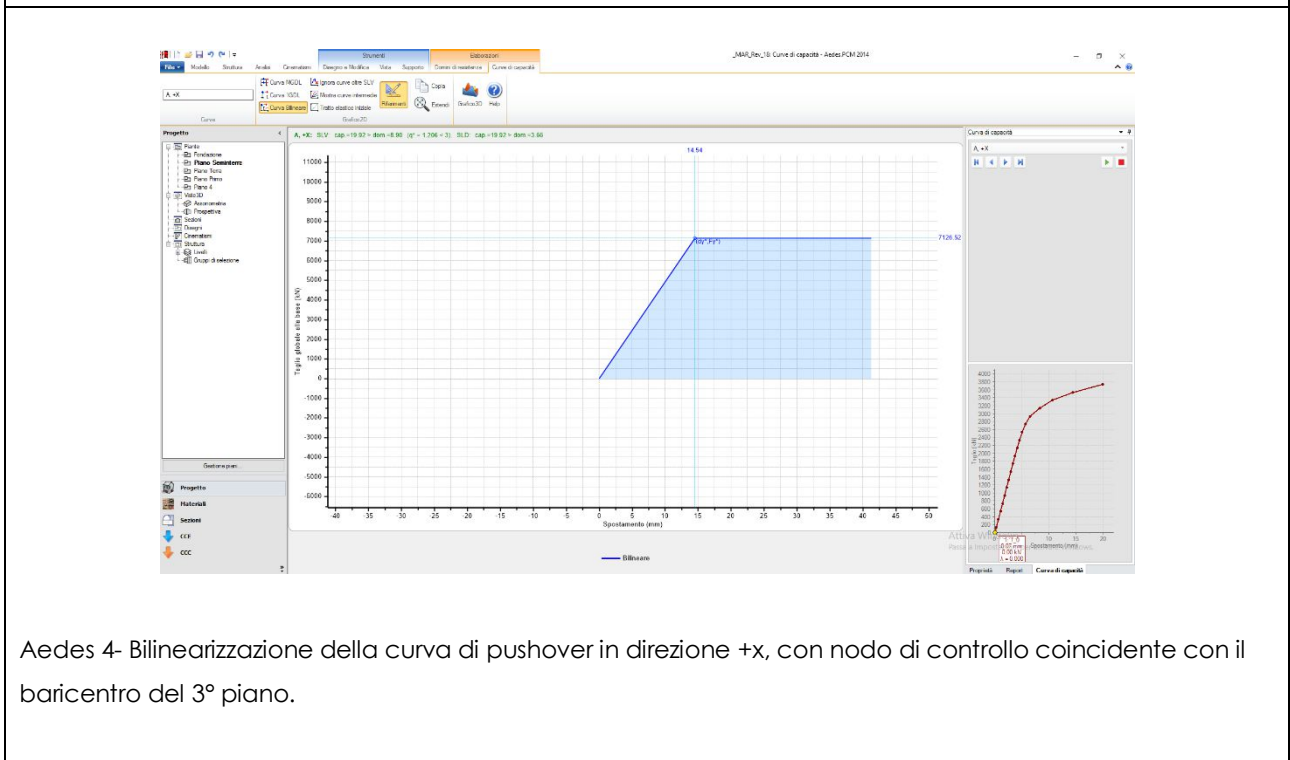


**ii. Aedes**

- 2) Si è scelto di riportare i valori ottenuti per l'ipotesi di nodi non vincolati a muoversi nel proprio piano di appartenenza ed una definizione delle zone rigide a determinate all'intersezione tra le fasce ed i maschi in quanto si è ritenuto essere quella che più si avvicina alla modellazione ottenuta tramite 3muri in termini di rigidità della bilineare che schematizza la curva di pushover.



Aedes 4-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

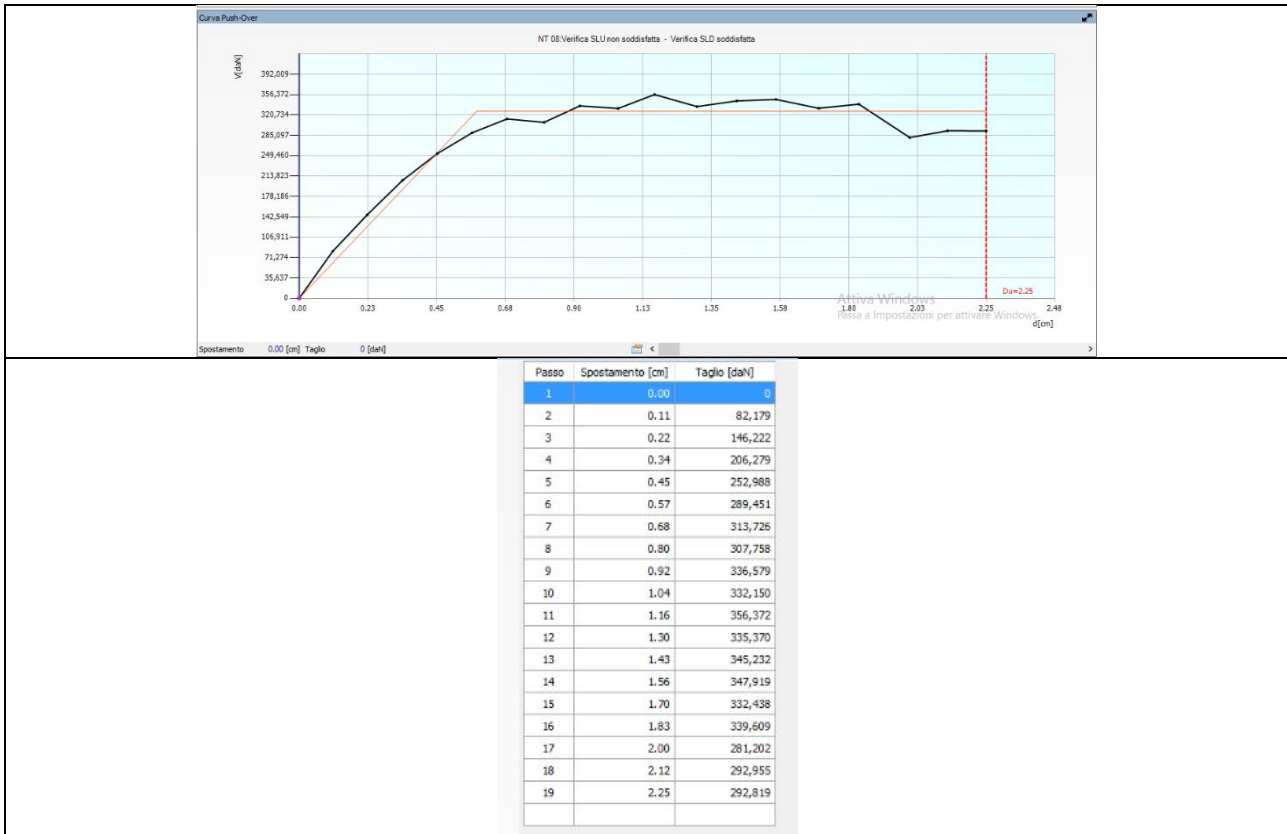


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

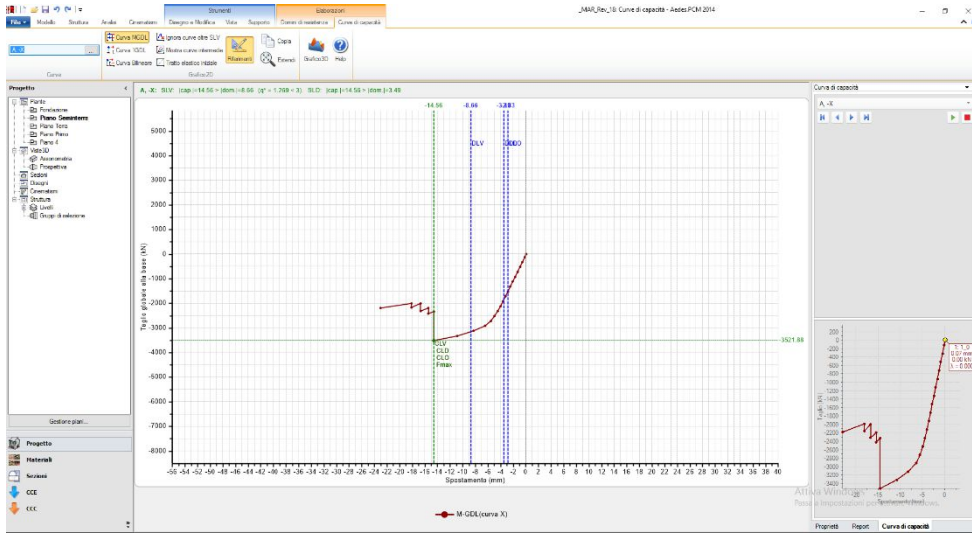
**b. Analisi pushover in direzione -x**

Nel seguito si riporta la sequenza di danneggiamento della struttura per sisma in direzione -x.

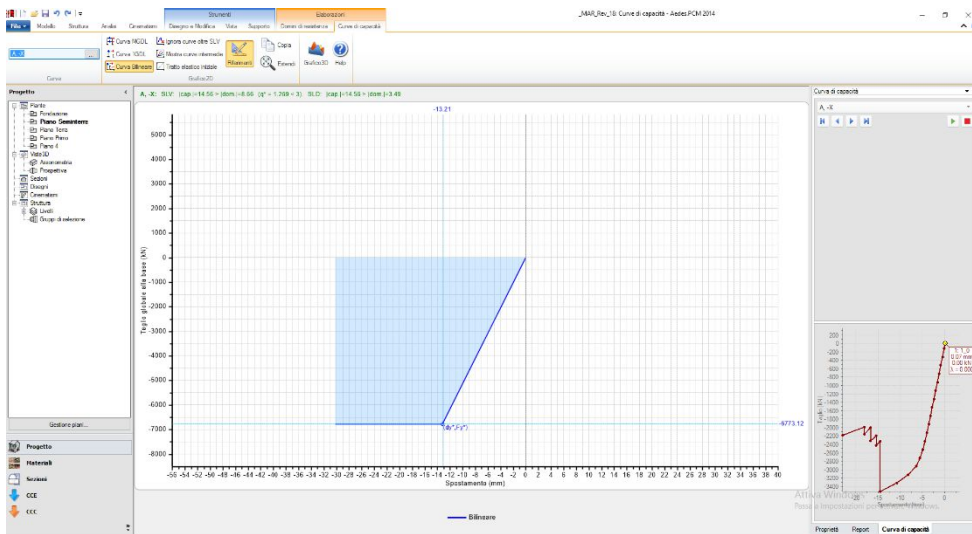
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

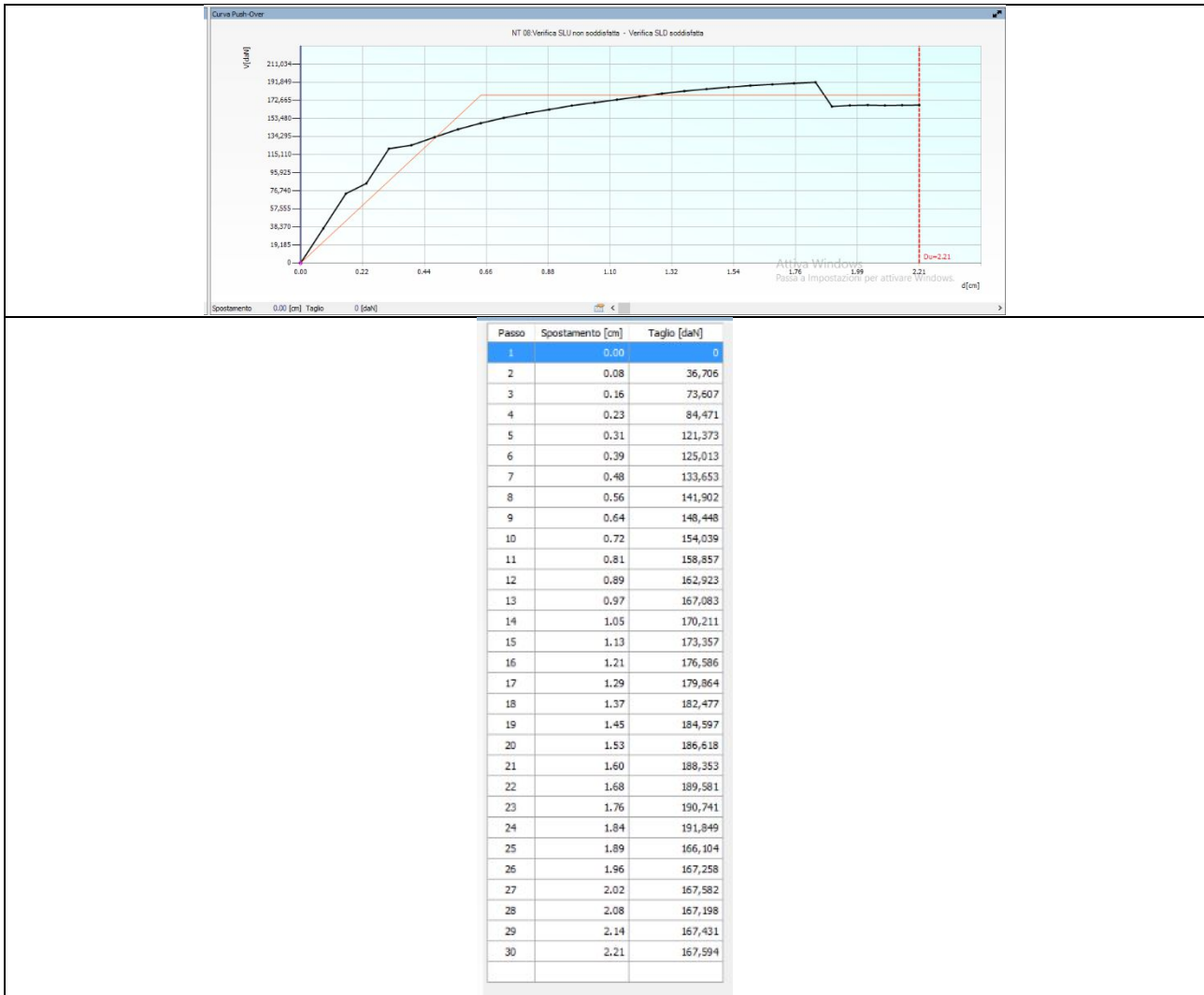


Aedes 4-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

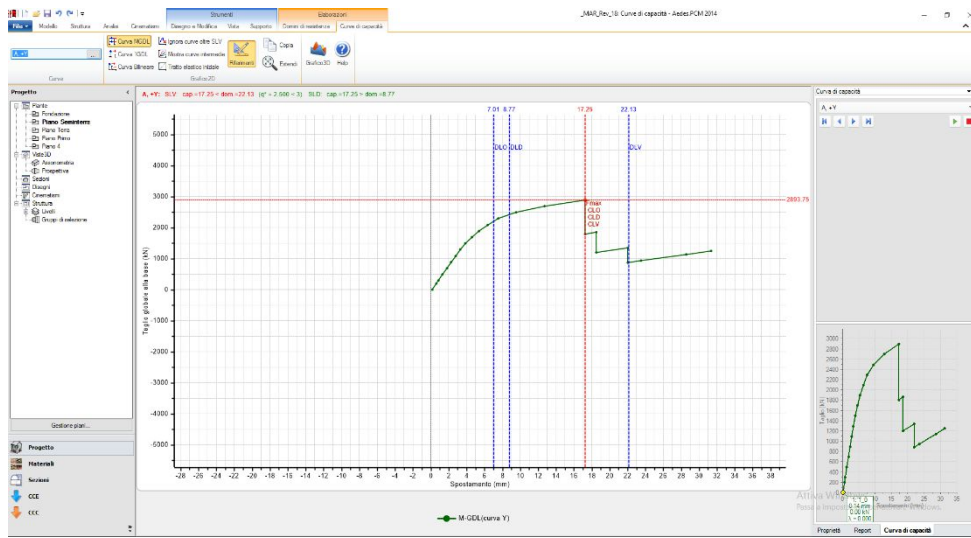


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

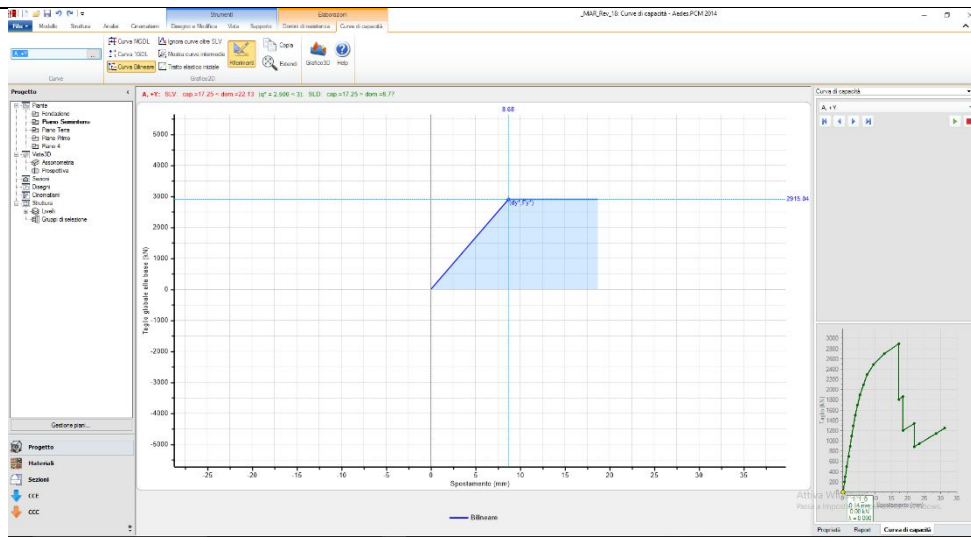
**c. Analisi pushover in direzione +y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

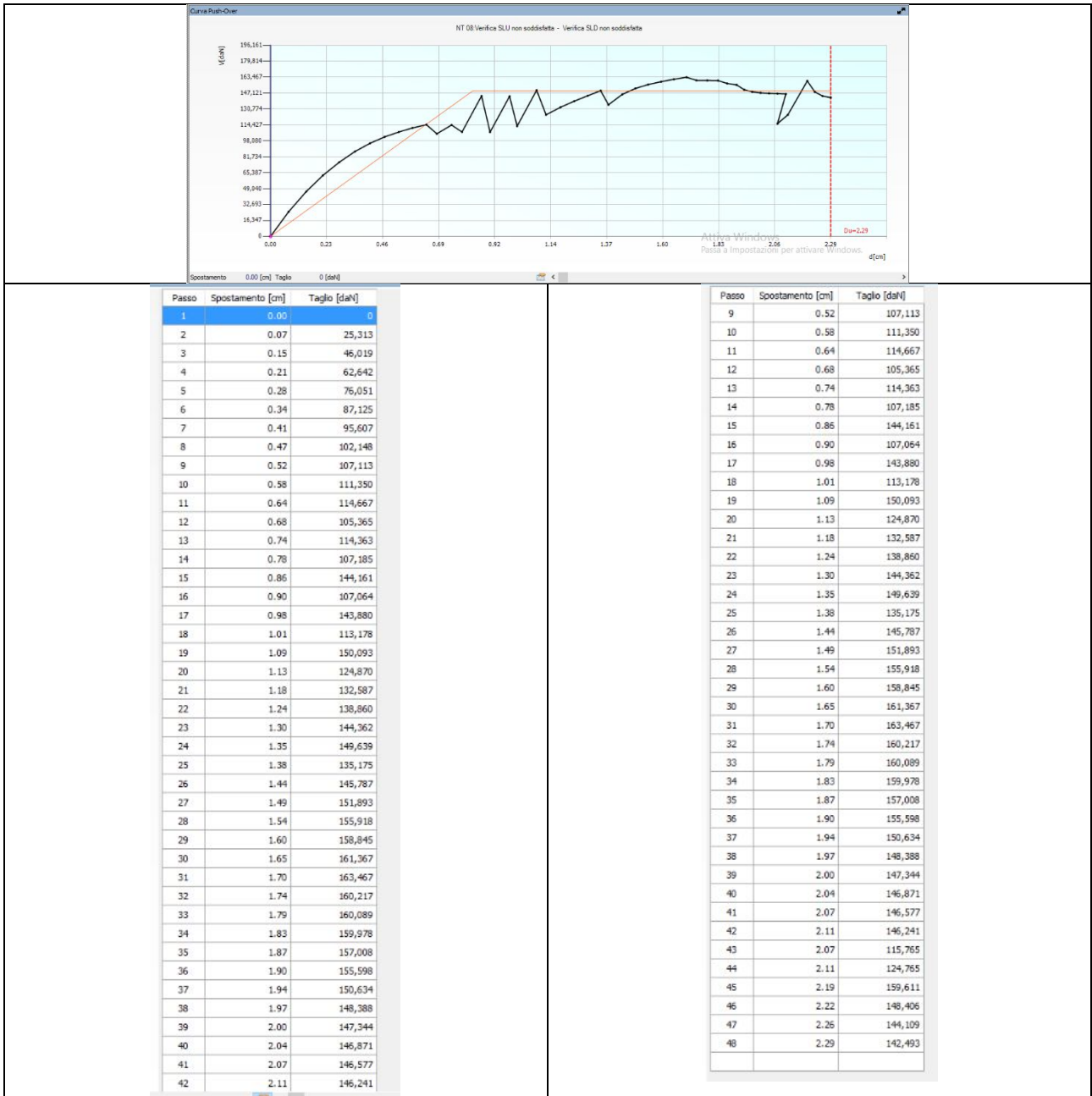


Aedes 4-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

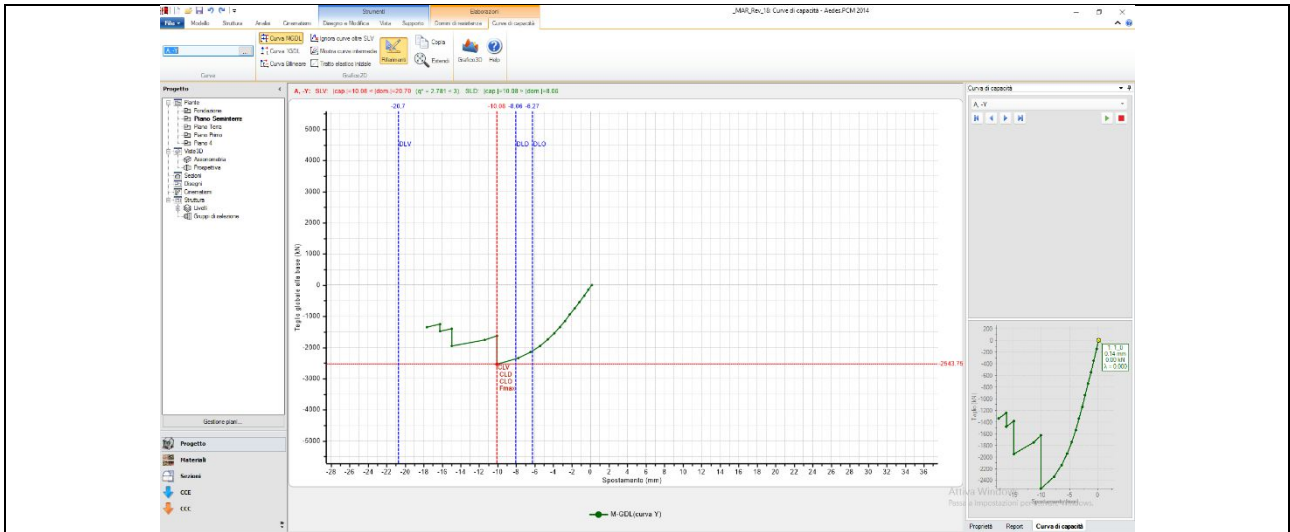


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

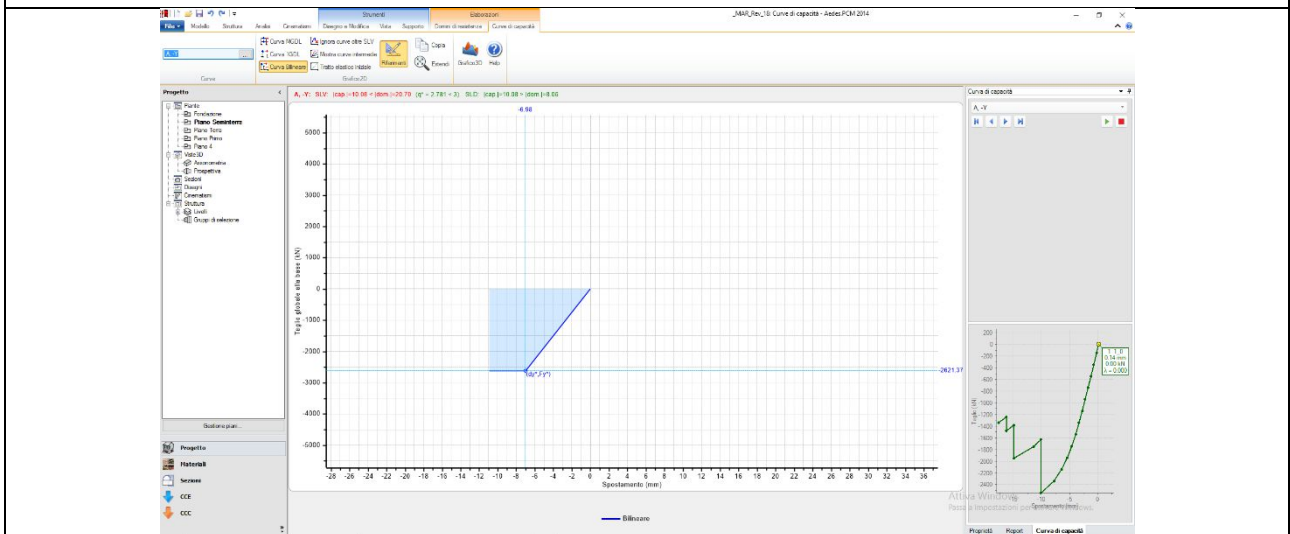
**d. Analisi pushover in direzione -y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**



Aedes 4-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

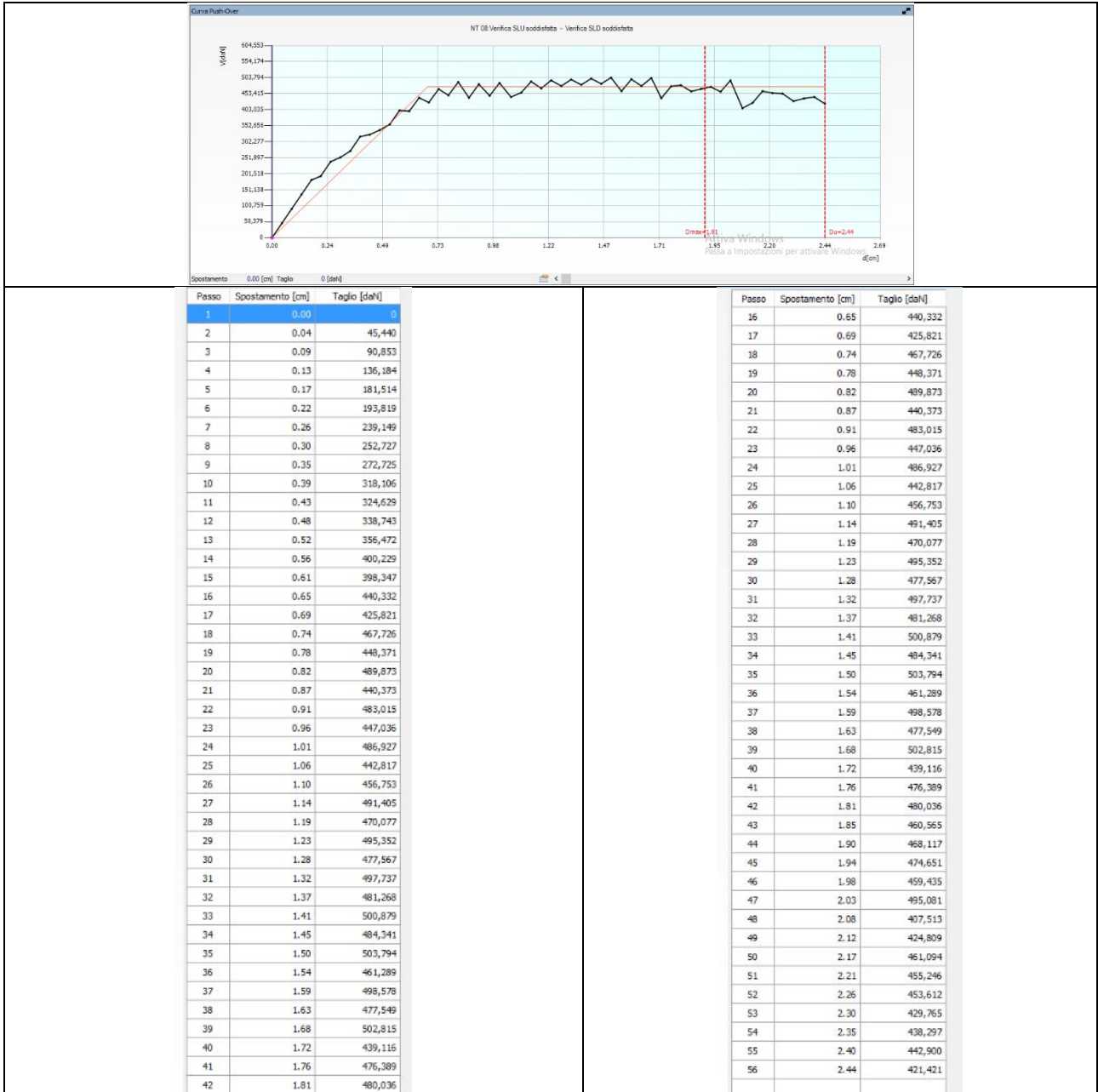


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

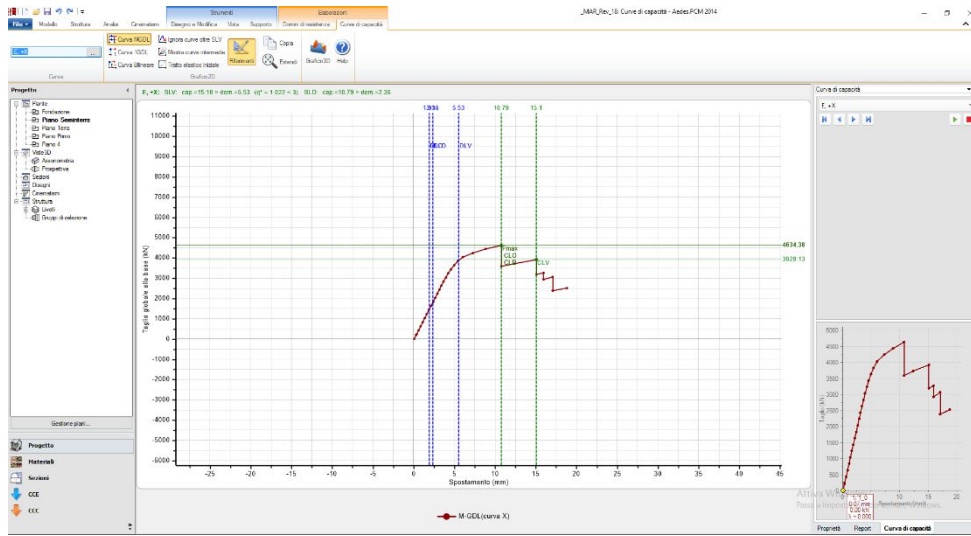
4) **Distribuzione uniforme di forze**

a. **Analisi pushover in direzione +x**

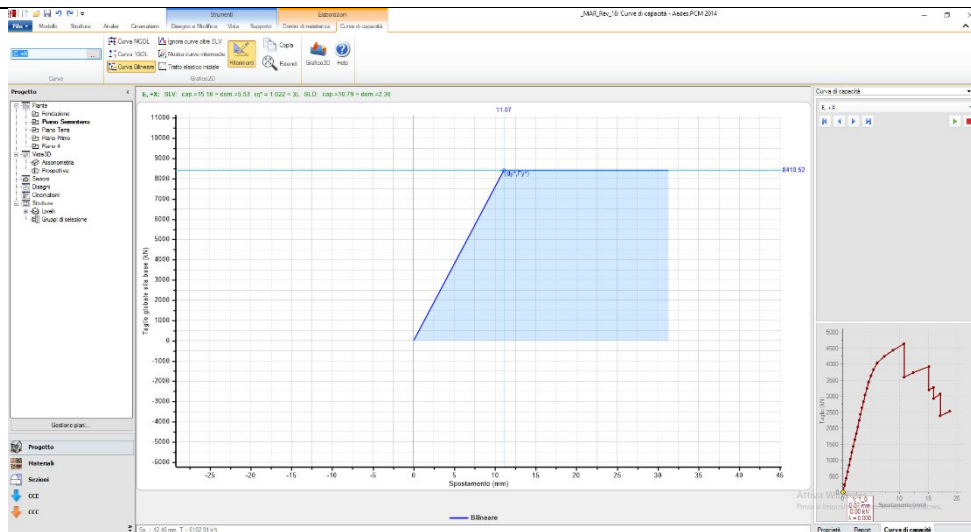
i. **3muri**



ii. **Aedes**

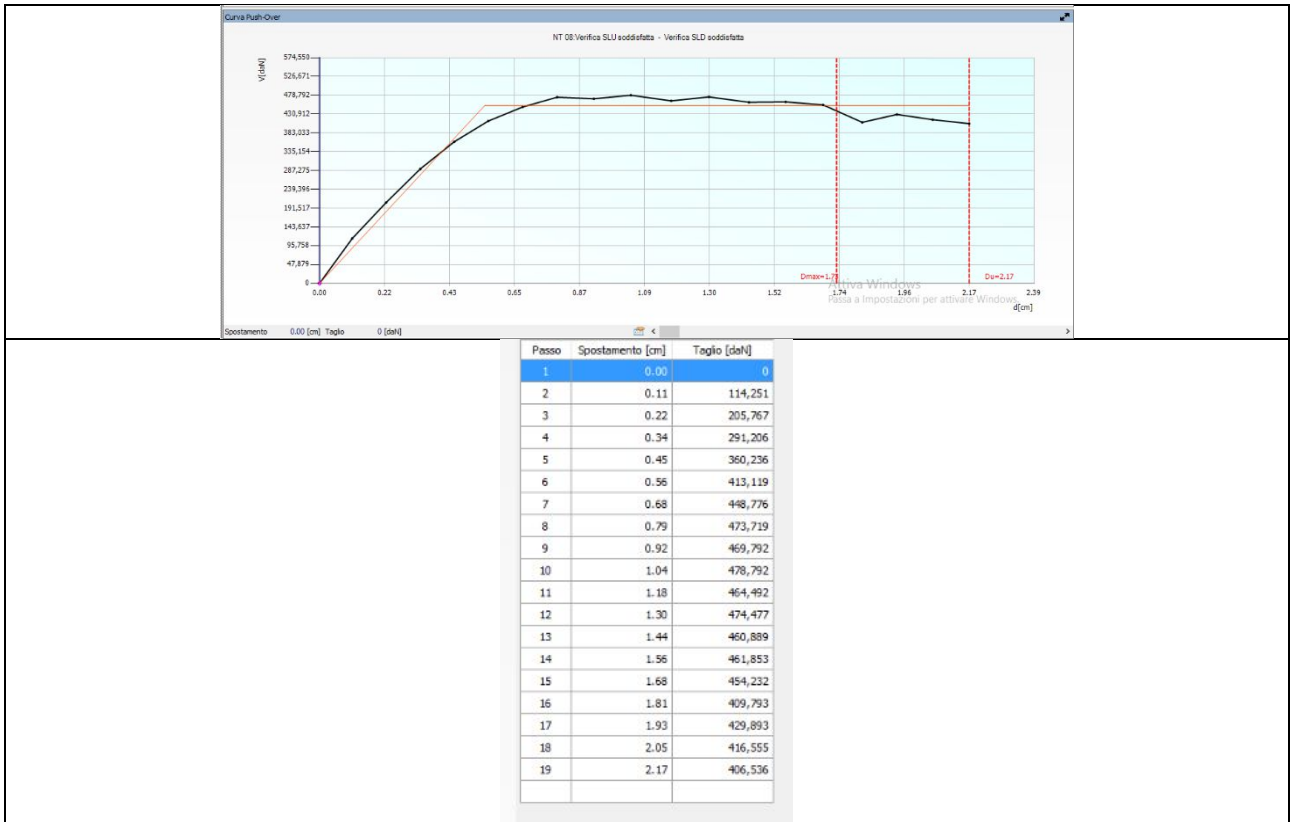


Aedes 4-Curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

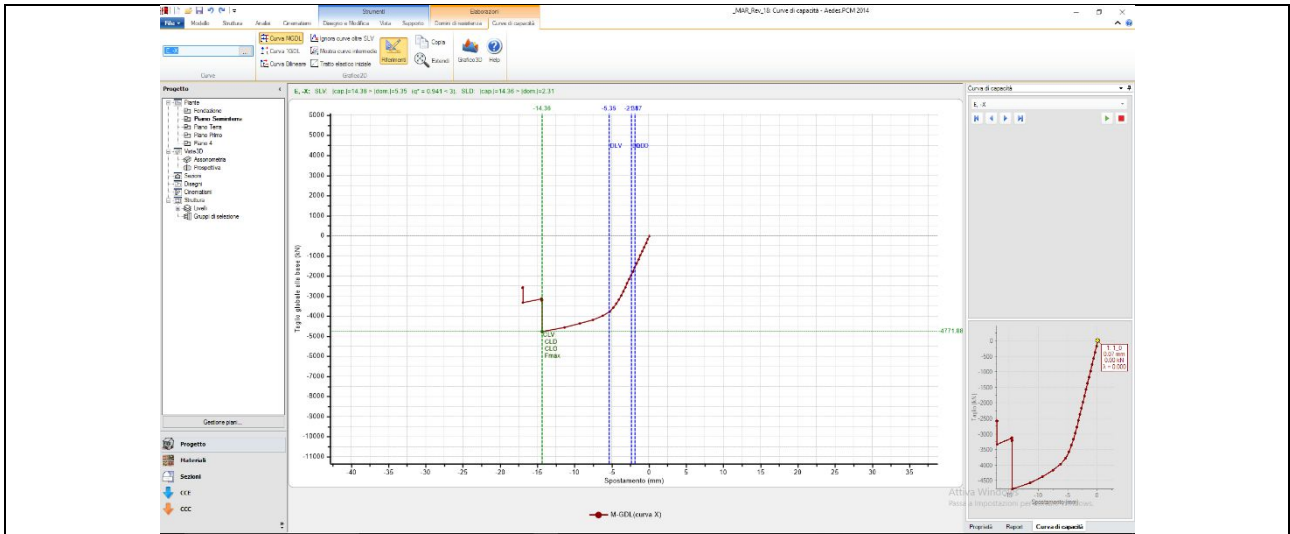


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del 3° piano.

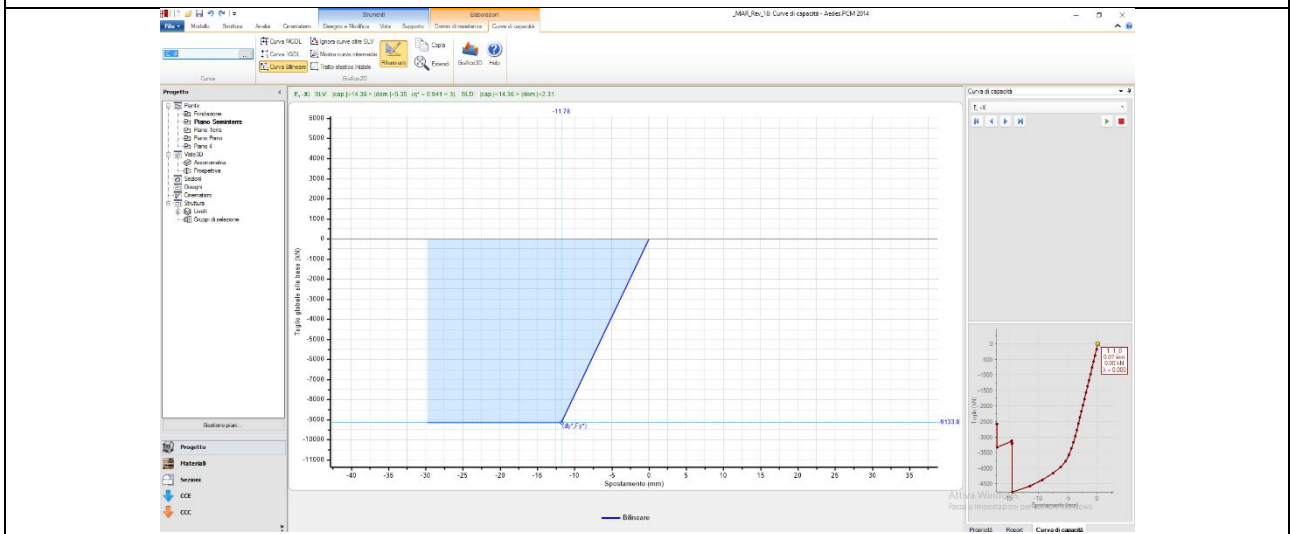
**b. Analisi pushover in direzione -x**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

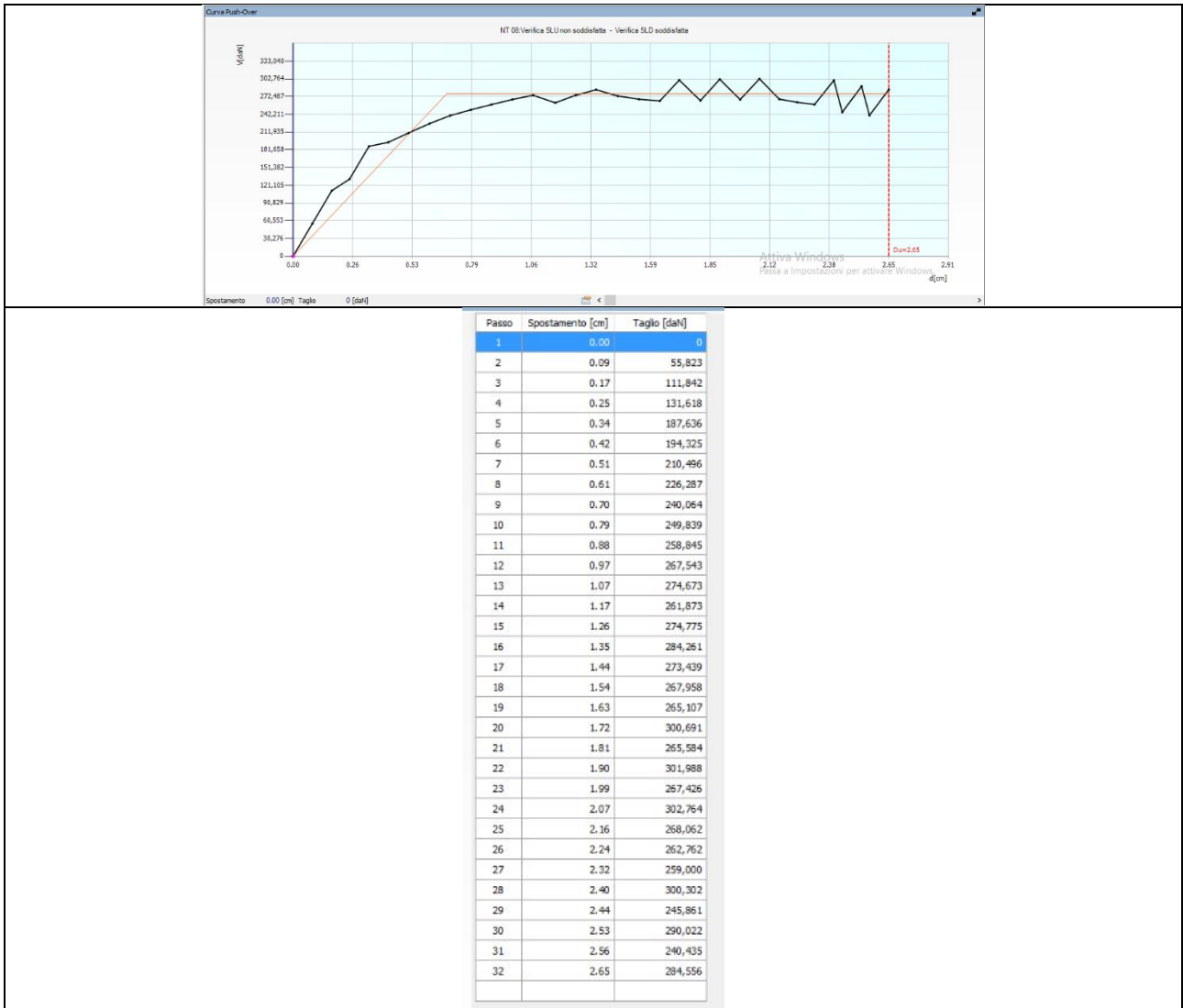


Aedes 4-Curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

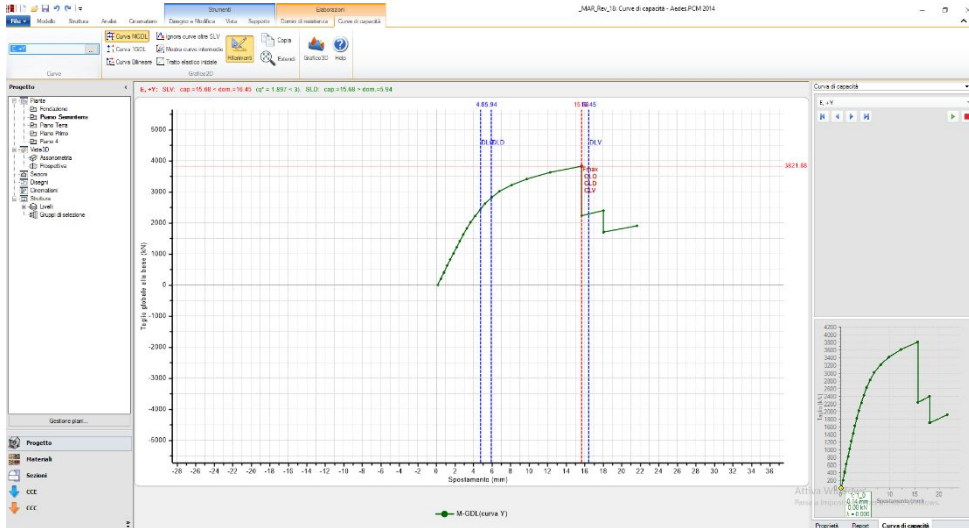


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -x, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

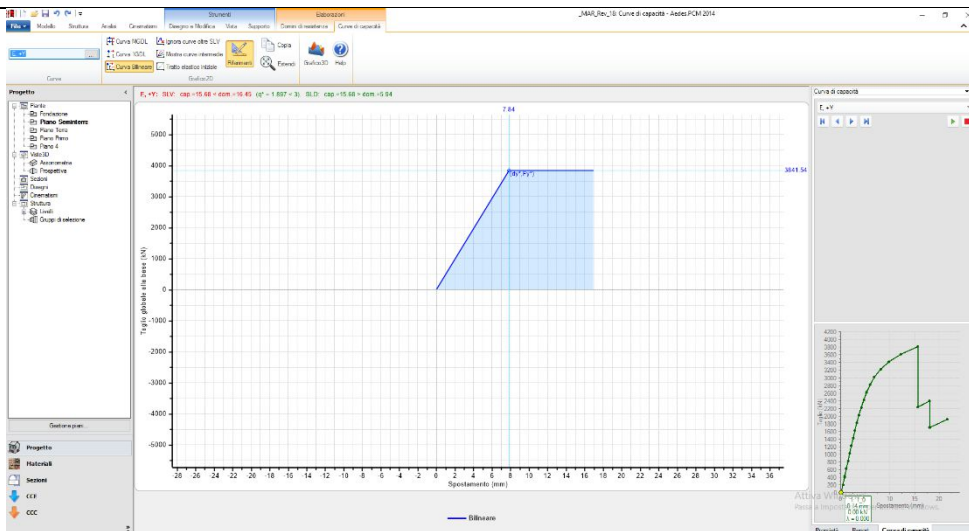
**c. Analisi pushover in direzione +y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**

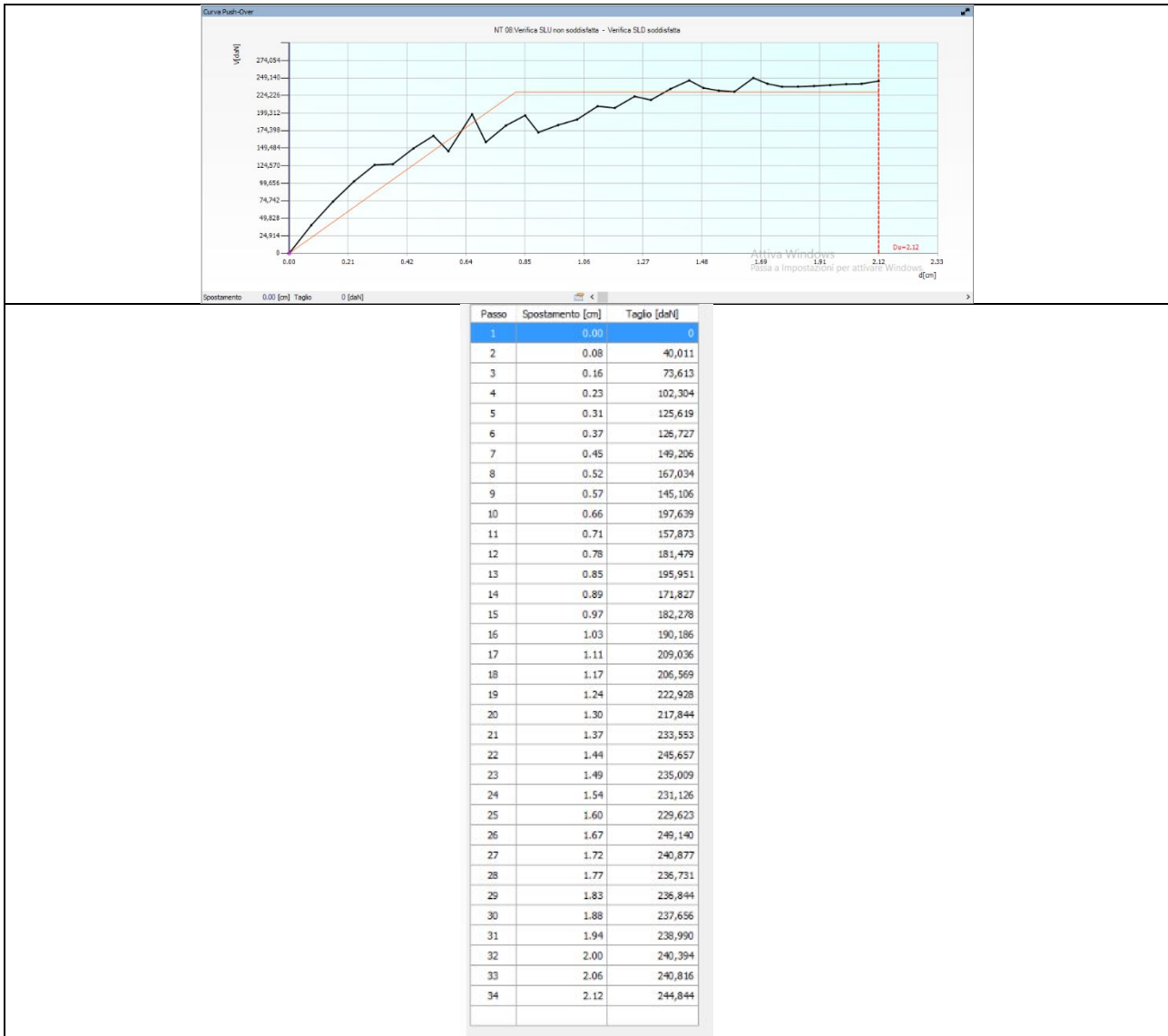


Aedes 4-Curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

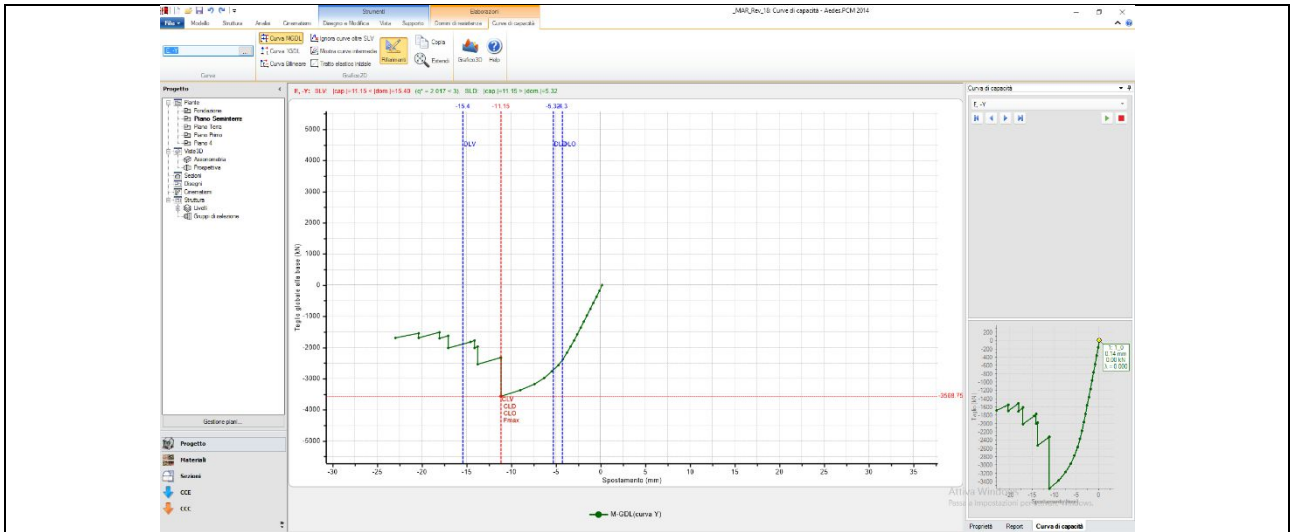


Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione +y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

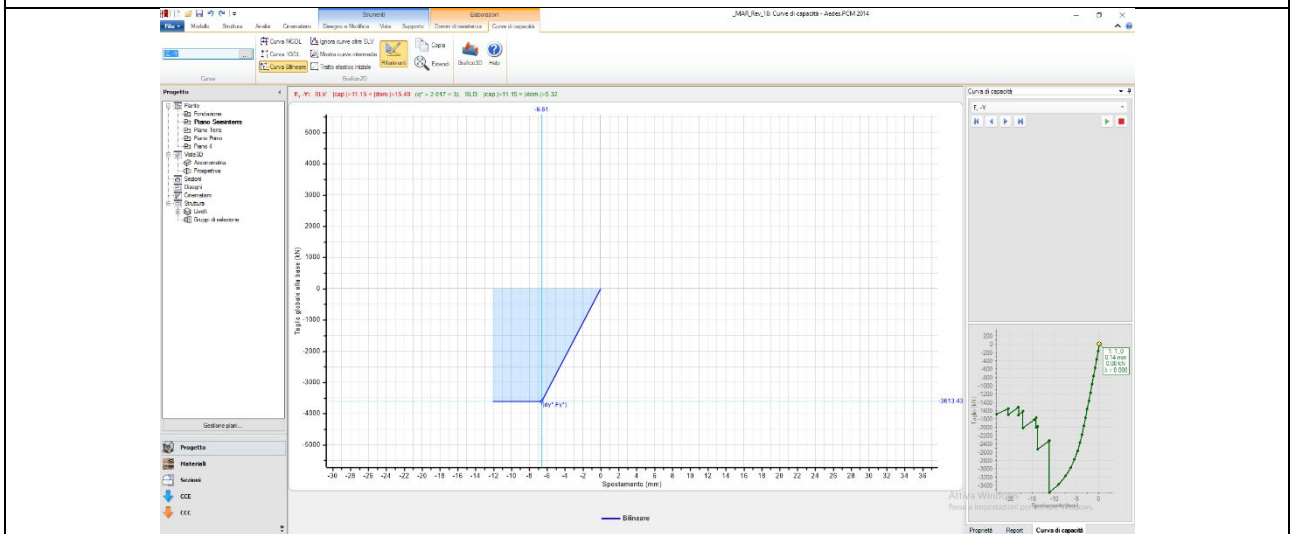
**d. Analisi pushover in direzione -y**  
**i. 3muri**



ii. **Aedes**



Aedes 4-Curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.



Aedes 4- Bilinearizzazione della curva di pushover in direzione -y, con nodo di controllo coincidente con il baricentro del piano 3°.

### 6.5.3.1 Comparazione analisi pushover

Si riportano i valori ottenuti per le analisi svolte ed il loro confronto.

Valgono le seguenti analogie:

- 1) Hyp 1 → modello con nodi vincolati nel piano, zone rigide date dall'intersezione maschio-fascia;
- 2) Hyp 2 → modello con nodi vincolati nel piano, zone rigide con diffusione a 30°;
- 3) Hyp 3 → modello con nodi non vincolati nel piano, zone rigide date dall'intersezione maschio-fascia;
- 4) Hyp 4 → modello con nodi non vincolati nel piano, zone rigide con diffusione a 30°.

HYP 1		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	3778.13	3775.00	5040.63	5050.00	2965.63	2968.75	4125.00	3896.88
$d_u$ (capacità)	[mm]	11.83	12.34	9.82	10.54	12.27	9.93	13.52	10.29
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	6.04	6.42	3.31	3.63	17.10	12.80	12.23	8.81
$q^*$		1.38	1.40	1.03	1.04	2.34	2.19	1.67	1.66
$T^*$	[s]	0.27	0.28	0.22	0.22	0.31	0.25	0.26	0.21
$k^*$	[kN/m]	944418.10	879830.30	1498241.00	1373131.00	464746.10	704445.70	669759.90	1052562.00
$F_y^*$	[kN]	7186.70	7117.34	9627.91	9555.07	2750.11	2935.26	3835.44	3880.19
$d_y^*$	[mm]	7.61	8.09	6.43	6.96	5.92	4.17	5.73	3.69

	X	Y
$m^*$	1748.57	1129.31
$\Gamma$	0.48	0.98

HYP 2		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	3409.38	3403.13	4790.63	4681.25	3068.75	2868.75	4075.00	3878.13
$d_u$ (capacità)	[mm]	9.26	9.56	10.61	9.79	16.30	10.66	19.37	10.81
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	8.08	8.47	5.13	5.49	18.98	14.98	13.99	10.99
$q^*$		1.651	1.674	1.185	1.227	2.449	2.450	1.802	1.819
$T^*$	[s]	0.336	0.346	0.272	0.280	0.407	0.342	0.336	0.284
$k^*$	[kN/m]	738426.10	696799.40	1127636.00	1064737.00	386607.90	547657.40	568003.70	793172.30
$F_y^*$	[kN]	7269.70	7169.22	10131.38	9783.86	3762.97	3760.55	5113.08	5067.07
$d_y^*$	[mm]	9.84	10.29	8.98	9.19	9.73	6.87	9.00	6.39

	X	Y
$m^*$	2111.42	1620.86
$\Gamma$	0.436	0.744

HYP 3		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	3715.63	3743.75	4956.25	4993.75	3003.13	2793.75	3893.75	3828.13
$d_u$ (capacità)	[mm]	13.64	15.95	14.48	12.46	17.36	11.28	13.50	12.49
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	8.11	7.92	4.71	4.49	16.12	14.85	10.79	10.08
$q^*$		1.31	1.31	1.01	0.98	1.83	1.93	1.41	1.42
$T^*$	[s]	0.30	0.30	0.24	0.24	0.33	0.31	0.26	0.25
$k^*$	[kN/m]	618804.00	636899.90	959318.40	1000292.00	372668.50	423971.30	572287.90	626729.70
$F_y^*$	[kN]	6267.16	6270.09	8131.17	8390.92	3135.23	2968.15	4069.74	4039.33
$d_y^*$	[mm]	10.13	9.84	8.48	8.39	8.41	7.00	7.11	6.45

	X	Y
$m^*$	1440.18	1009.24
$\Gamma$	0.549	0.889

HYP 4		X, A	-X, A	X, E	-X, E	Y, A	-Y, A	Y, E	-Y, E
Taglio alla base	[kN]	3734.38	3521.88	3928.13	4774.88	2893.75	2543.75	3821.88	3568.75
$d_u$ (capacità)	[mm]	19.92	14.56	15.10	14.36	17.25	10.08	15.68	11.15
$d_{max}$ (domanda)	[mm]	8.90	8.66	5.53	5.35	22.13	20.70	16.45	15.40
$q^*$		1.206	1.269	1.022	0.941	2.500	2.781	1.897	2.017
$T^*$	[s]	0.349	0.341	0.280	0.277	0.388	0.367	0.321	0.304
$k^*$	[kN/m]	490029.10	512732.80	759709.90	775520.20	335877.80	375327.30	490007.80	546917.10
$F_y^*$	[kN]	7126.52	6773.12	8410.00	9133.80	2915.04	2621.37	3841.54	3613.43
$d_y^*$	[mm]	14.54	13.21	11.07	11.78	8.68	6.98	7.84	6.61

	X	Y
$m^*$	1512.08	1282.05
$\Gamma$	0.483	0.924

**1) Distribuzione proporzionale alle forze statiche**

**a. Direzione +x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
m*	[daN]	1354366.16	1748570.00	2111420.00	1440180.00	1512080.00
$\Gamma$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.27	0.48	0.44	0.55	0.48

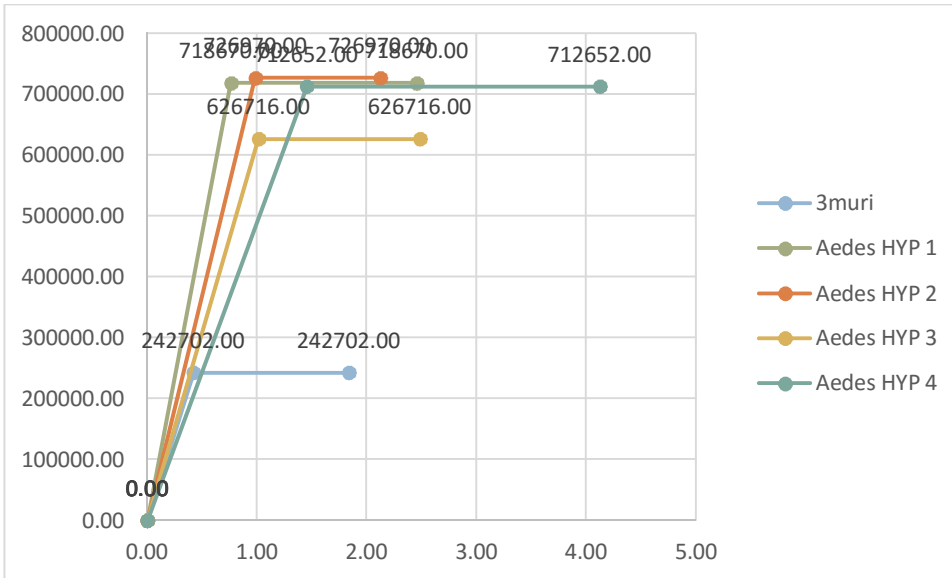
$\Delta$				Differenze			
3muri-Aedes PCM HYP 1	3muri-Aedes PCM HYP 2	3muri-Aedes PCM HYP 3	3muri-Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-394203.84	-757053.84	-85813.84	-157713.84	-29.11	-55.90	-6.34	-11.64
0.79	0.83	0.72	0.79	62.05	65.67	56.77	61.97

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	339133.00	377813.00	340938.00	371563.00	373438.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	2.33	1.18	0.93	1.36	1.99
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	2.45	0.60	0.81	0.81	0.89
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		0.95	1.96	1.15	1.68	2.24
q*		3.110	1.383	1.651	1.306	1.206
T*	[s]	0.306	0.270	0.336	0.297	0.349
k*	[kN/m]	571022.18	946924.23	738339.01	644560.39	490098.81
F <sub>y</sub> *	[daN]	242702.00	718670.00	726970.00	626716.00	712652.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.42	0.76	0.98	1.01	1.45
d <sub>u</sub> *	[cm]	1.83	2.45	2.12	2.48	4.12
Energia dissipata	[daN·cm]	394304.75	1490418.70	1186308.33	1239655.09	2421038.19

$\Delta$				Differenze			
3muri-Aedes PCM HYP 1	3muri-Aedes PCM HYP 2	3muri-Aedes PCM HYP 3	3muri-Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-38680.00	-1805.00	-32430.00	-34305.00	-11.41	-0.53	-9.56	-10.12
1.15	1.40	0.97	0.34	49.23	60.26	41.46	14.51
1.85	1.64	1.64	1.56	75.35	67.02	66.90	63.67
-1.01	-0.20	-0.73	-1.29	-105.95	-20.51	-76.85	-135.35
1.73	1.46	1.80	1.90	55.53	46.91	58.01	61.22
0.04	-0.03	0.01	-0.04	11.76	-9.80	2.94	-14.05
-375902.05	-167316.83	-73538.21	80923.37	-65.83	-29.30	-12.88	14.17
-475968.00	-484268.00	-384014.00	-469950.00	-196.11	-199.53	-158.22	-193.63
-0.34	-0.56	-0.59	-1.03	-81.19	-134.29	-141.19	-246.19
-0.62	-0.29	-0.65	-2.29	-33.78	-15.76	-35.42	-124.80
-1096113.95	-792003.58	-845350.34	-2026733.44	-277.99	-200.86	-214.39	-514.00

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	50967.420	0.00	0.00	273453.935
0.42	242702.00	343337.333	0.76	718670.00	1216964.765
1.83	242702.00		2.45	718670.00	
	TOT	394304.753		TOT	1490418.700

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	357669.240	0.00	0.00	317431.654	0.00	0.00	518098.004
0.98	726970.00	828639.089	1.01	626716.00	922223.439	1.45	712652.00	1902940.191
2.12	726970.00		2.48	626716.00		4.12	712652.00	
	TOT	1186308.329		TOT	1239655.093		TOT	2421038.195



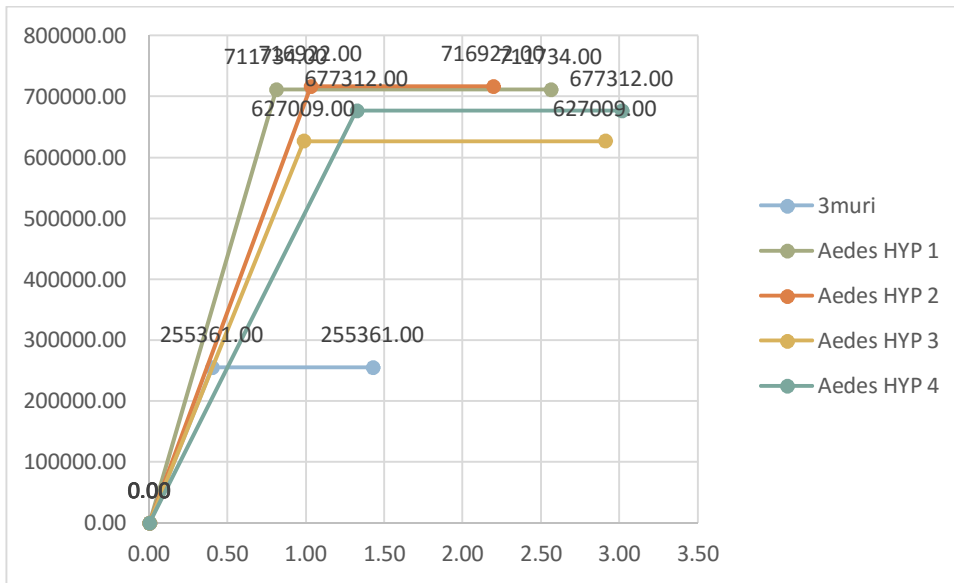
**b. Direzione -x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	348456.00	377500.00	340313.00	374375.00	352188.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	1.81	1.23	0.96	1.60	1.46
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	2.12	0.64	0.85	0.79	0.87
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		0.85	1.92	1.13	2.01	1.68
q*		2.99	1.40	1.67	1.31	1.27
T*	[s]	0.29	0.28	0.35	0.30	0.34
k*	[kN/m]	635769.71	880494.60	696277.19	635966.35	513364.40
F <sub>y</sub> *	[daN]	255361.00	711734.00	716922.00	627009.00	677312.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.40	0.81	1.03	0.98	1.32
d <sub>u</sub> *	[cm]	1.43	2.56	2.19	2.91	3.01
Energia dissipata	[daN·cm]	312867.49	1534260.77	1203110.22	1513149.74	1594387.54

Δ				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-29044.00	8143.00	-25919.00	-3732.00	-8.34	2.34	-7.44	-1.07
0.58	0.85	0.22	0.35	31.82	47.18	11.88	19.56
1.48	1.27	1.33	1.25	69.72	60.05	62.64	59.15
-1.07	-0.27	-1.16	-0.83	-125.13	-32.20	-135.88	-96.92
1.59	1.32	1.68	1.72	53.28	44.01	56.32	57.56
0.01	-0.06	-0.01	-0.05	3.45	-19.31	-3.10	-17.59
-244724.89	-60507.48	-196.63	122405.32	-38.49	-9.52	-0.03	19.25
-456373.00	-461561.00	-371648.00	-421951.00	-178.72	-180.75	-145.54	-165.24
-0.41	-0.63	-0.58	-0.92	-102.25	-157.25	-146.00	-230.25
-1.13	-0.77	-1.48	-1.59	-79.64	-53.85	-103.85	-111.51
-1221393.27	-890242.73	-1200282.25	-1281520.05	-390.39	-284.54	-383.64	-409.60

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	51072.200	0.00	0.00	287896.403
0.40	255361.00	261795.293	0.81	711734.00	1246364.364
1.43	255361.00		2.56	711734.00	
	TOT	312867.493		TOT	1534260.767

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	368856.369	0.00	0.00	308488.428	0.00	0.00	447364.576
1.03	716922.00	834253.849	0.98	627009.00	1204661.313	1.32	677312.00	1147022.964
2.19	716922.00		2.91	627009.00		3.01	677312.00	
	TOT	1203110.218		TOT	1513149.741		TOT	1594387.540



**c. Direzione +y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
m*	[daN]	1240059.88	1129310.00	1620860.00	1009240.00	1282050.00
Γ	[m/s <sup>2</sup> ]	1.33	0.98	0.74	0.89	0.92

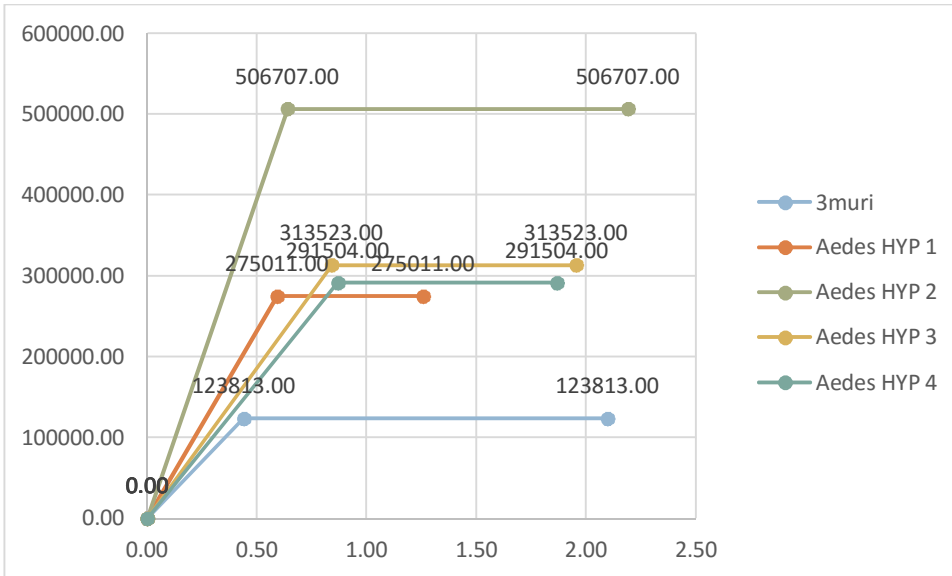
Δ				Differenze			
3muri-Aedes PCM HYP 1	3muri-Aedes PCM HYP 2	3muri-Aedes PCM HYP 3	3muri-Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
110749.88	-380800.12	230819.88	-41990.12	8.93	-30.71	18.61	-3.39
0.35	0.59	0.44	0.41	26.62	44.06	33.16	30.53

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	173297.00	296563.00	306875.00	300313.00	289375.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	2.790	1.23	1.63	1.74	1.73
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	3.590	1.71	1.10	1.61	2.21
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		0.777	0.718	1.483	1.077	0.779
q*		5.640	2.335	1.819	1.830	2.50
T*	[s]	0.419	0.310	0.284	0.327	0.39
k*	[kN/m]	278852.37	463926.866	793356.824	372613.586	336202.74
F <sub>y</sub> *	[daN]	123813.00	275011.000	506707.000	313523.000	291504.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.440	0.592	0.639	0.841	0.87
d <sub>u</sub> *	[cm]	2.098	1.257	2.191	1.953	1.867
Energia dissipata	[daN·cm]	232489.16	264332.91	948231.32	480397.47	417691.16

Δ				Differenze			
3muri-Aedes PCM HYP 1	3muri-Aedes PCM HYP 2	3muri-Aedes PCM HYP 3	3muri-Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-123266.00	-133578.00	-127016.00	-116078.00	-71.13	-77.08	-73.29	-66.98
1.56	1.16	1.05	1.07	56.02	41.58	37.78	38.17
1.88	2.49	1.98	1.38	52.37	69.39	55.10	38.36
0.06	-0.71	-0.30	0.00	7.67	-90.84	-38.57	-0.30
3.31	3.82	3.81	3.14	58.60	67.75	67.55	55.67
0.11	0.14	0.09	0.03	26.01	32.22	21.96	7.40
-185074.49	-514504.45	-93761.21	-57350.37	-66.37	-184.51	-33.62	-20.57
-151198.00	-382894.00	-189710.00	-167691.00	-122.12	-309.25	-153.22	-135.44
-0.15	-0.20	-0.40	-0.43	-34.55	-45.23	-91.14	-97.27
0.84	-0.09	0.14	0.23	40.07	-4.44	6.91	11.01
-31843.75	-715742.16	-247908.31	-185202.00	-13.70	-307.86	-106.63	-79.66

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	27238.860	0.00	0.00	81403.256
0.44	123813.00	205250.303	0.59	275011.00	182929.653
2.10	123813.00		1.26	275011.00	
	TOT	232489.163		TOT	264332.909

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	161892.887	0.00	0.00	131836.422	0.00	0.00	126512.74
0.64	506707.00	786338.434	0.84	313523.00	348561.047	0.87	291504.00	291178.42
2.19	506707.00		1.95	313523.00		1.87	291504.00	
	TOT	948231.320		TOT	480397.468		TOT	417691.16



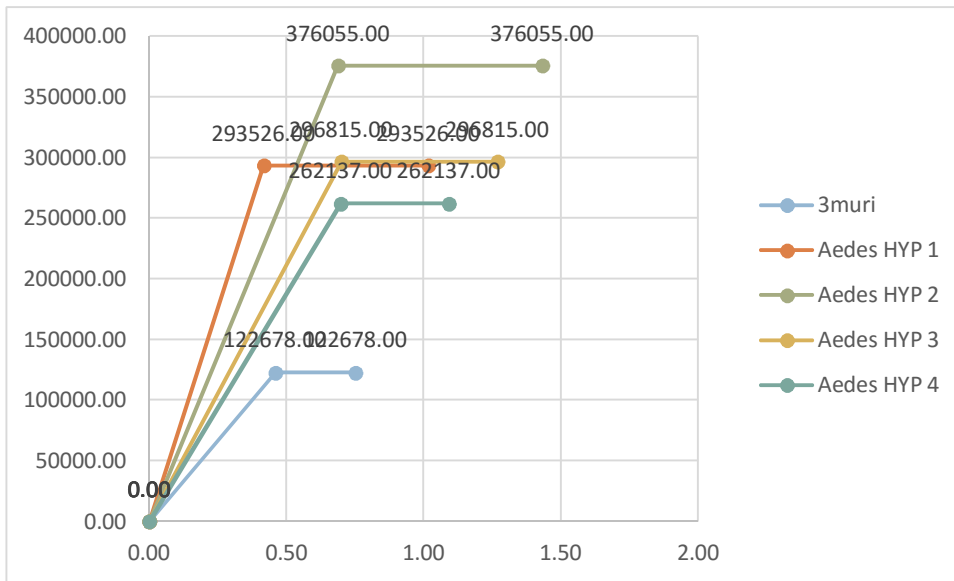
**d. Direzione -y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	175089.00	296875.00	286875.000	279375.000	254375.000
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	1.000	0.99	1.066	1.128	1.008
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	3.670	1.28	1.498	1.485	2.070
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		0.272	0.776	0.712	0.760	0.487
q*		5.690	2.187	2.450	1.933	2.781
T*	[s]	0.427	0.252	0.342	0.307	0.367
k*	[kN/m]	268501.45	702056.119	547082.760	422743.989	375779.056
F <sub>y</sub> *	[daN]	122678.00	293526.000	376055.000	296815.000	262137.000
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.460	0.417	0.687	0.700	0.698
d <sub>u</sub> *	[cm]	0.752	1.017	1.433	1.269	1.091
Energia dissipata	[daN·cm]	64023.16	237438.474	409635.09	272725.91	194481.82

Δ				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-121786.00	-111786.00	-104286.00	-79286.00	-69.56	-63.85	-59.56	-45.28
0.01	-0.07	-0.13	-0.01	0.70	-6.60	-12.80	-0.80
2.39	2.17	2.19	1.60	65.12	59.18	59.54	43.60
-0.50	-0.44	-0.49	-0.21	-184.71	-161.16	-178.77	-78.71
3.50	3.24	3.76	2.91	61.56	56.94	66.03	51.12
0.18	0.09	0.12	0.06	40.98	19.91	28.10	14.05
-433554.66	-278581.31	-154242.53	-107277.60	-161.47	-103.75	-57.45	-39.95
-170848.00	-253377.00	-174137.00	-139459.00	-139.27	-206.54	-141.95	-113.68
0.04	-0.23	-0.24	-0.24	9.35	-49.35	-52.17	-51.74
-0.27	-0.68	-0.52	-0.34	-35.32	-90.56	-68.76	-45.09
-173415.32	-345611.94	-208702.75	-130458.67	-270.86	-539.82	-325.98	-203.77

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	28215.940	0.00	0.00	61200.171
0.46	122678.00	35807.218	0.42	293526.00	176238.303
0.75	122678.00		1.02	293526.00	
	TOT	64023.158		TOT	237438.474

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	129174.893	0.00	0.00	103885.250	0.00	0.00	91485.813
0.69	376055.00	280460.202	0.70	296815.00	168840.659	0.70	262137.00	102996.010
1.43	376055.00		1.27	296815.00		1.09	262137.00	
	TOT	409635.094		TOT	272725.909		TOT	194481.823



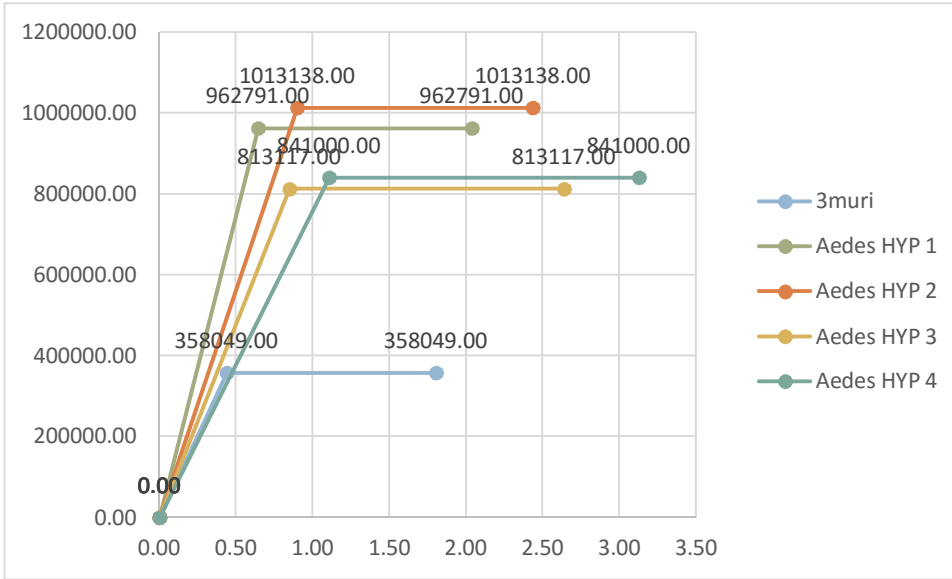
**2) Distribuzione uniforme di forze**  
**a. Direzione +x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	496014.00	504063.00	479063.00	495625.00	392813.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	2.29	0.98	1.06	1.45	1.51
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	1.69	0.33	0.51	0.47	0.55
$d_u / d_{max}$		1.36	2.97	2.07	3.07	2.73
$q^*$		2.13	1.03	1.19	1.01	1.02
$T^*$	[s]	0.26	0.22	0.27	0.24	0.28
$k^*$	[kN/m]	815860.49	1493364.56	1126669.56	962861.82	761409.77
$F_y^*$	[daN]	358049.00	962791.00	1013138.00	813117.00	841000.00
$d_y^*$	[cm]	0.44	0.64	0.90	0.85	1.11
$d_u^*$	[cm]	1.80	2.04	2.43	2.64	3.13
Energia dissipata	[daN·cm]	566845.13	1651999.54	2010558.42	1799852.99	2163719.75

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-8049.00	16951.00	389.00	103201.00	-1.62	3.42	0.08	20.81
1.31	1.23	0.84	0.78	57.12	53.67	36.77	34.06
1.36	1.18	1.22	1.14	80.41	69.64	72.13	67.28
-1.61	-0.71	-1.72	-1.38	-118.94	-52.63	-126.88	-101.51
1.10	0.95	1.12	1.11	51.50	44.37	52.72	52.02
0.04	-0.02	0.01	-0.02	16.02	-6.25	5.08	-9.38
-677504.07	-310809.07	-147001.33	54450.72	-83.04	-38.10	-18.02	6.67
-604742.00	-655089.00	-455068.00	-482951.00	-168.90	-182.96	-127.10	-134.88
-0.20	-0.46	-0.41	-0.67	-46.14	-104.09	-92.73	-151.59
-0.23	-0.63	-0.83	-1.32	-12.99	-34.96	-46.27	-73.38
-1085154.41	-1443713.29	-1233007.86	-1596874.62	-191.44	-254.69	-217.52	-281.71

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	78770.780	0.00	0.00	309537.307
0.44	358049.00	488074.353	0.64	962791.00	1342462.238
1.80	358049.00		2.04	962791.00	
	TOT	566845.133		TOT	1651999.544

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	454898.962	0.00	0.00	344761.608	0.00	0.00	465493.500
0.90	1013138.00	1555659.457	0.85	813117.00	1455091.385	1.11	841000.00	1698226.251
2.43	1013138.00		2.64	813117.00		3.13	841000.00	
	TOT	2010558.419		TOT	1799852.993		TOT	2163719.751



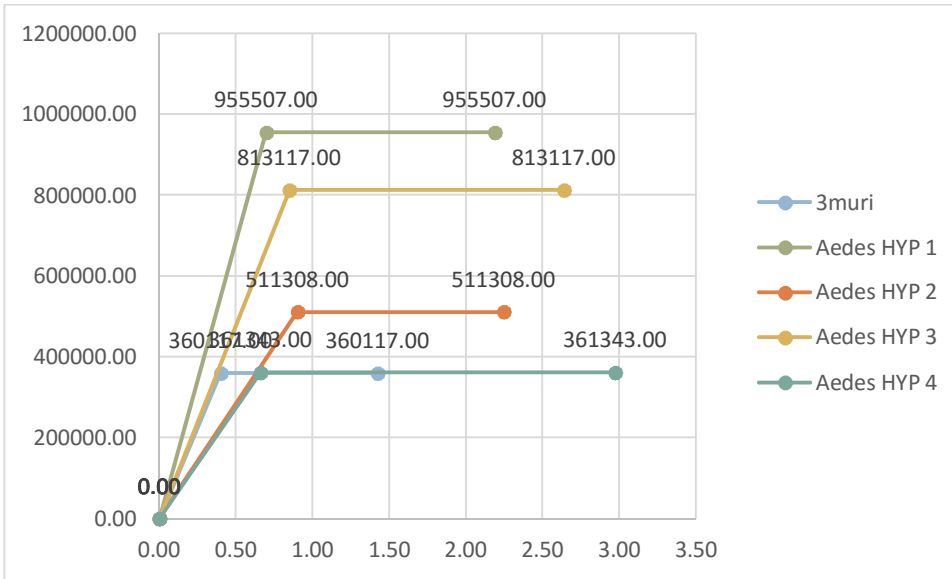
**b. Direzione -x**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	489620.00	505000.00	468125.00	495625.00	477488.00
$d_u$ (capacità)	[cm]	1.81	1.05	0.98	1.45	1.44
$d_{max}$ (domanda)	[cm]	1.57	0.36	1.40	0.47	0.54
$d_u / d_{max}$		1.15	2.90	0.70	3.07	2.68
$q^*$		2.12	1.04	1.80	1.01	2.02
$T^*$	[s]	0.24	0.22	0.34	0.24	0.30
$k^*$	[kN/m]	905489.22	1375772.81	738339.01	962861.82	645932.80
$F_y^*$	[daN]	360117.00	955507.00	511308.00	813117.00	361343.00
$d_y^*$	[cm]	0.40	0.70	0.90	0.85	0.66
$d_u^*$	[cm]	1.43	2.19	2.25	2.64	2.97
Energia dissipata	[daN·cm]	441214.21	1756911.73	918008.95	1799852.99	954879.55

$\Delta$				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-15380.00	21495.00	-6005.00	12132.00	-3.14	4.39	-1.23	2.48
0.76	0.83	0.36	0.37	41.77	45.91	20.00	20.66
1.21	0.17	1.10	1.04	76.88	10.89	70.00	65.92
-1.75	0.45	-1.92	-1.53	-151.86	39.30	-166.67	-132.82
1.08	0.32	1.11	0.10	50.94	15.00	52.50	4.86
0.02	-0.09	0.00	-0.06	7.82	-38.27	0.00	-25.10
-470283.59	167150.21	-57372.60	259556.42	-51.94	18.46	-6.34	28.66
-595390.00	-151191.00	-453000.00	-1226.00	-165.33	-41.98	-125.79	-0.34
-0.30	-0.50	-0.45	-0.26	-74.00	-125.00	-112.00	-65.25
-0.76	-0.82	-1.21	-1.55	-53.43	-57.55	-85.06	-108.61
-1315697.52	-476794.74	-1358638.78	-513665.34	-298.20	-108.06	-307.93	-116.42

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	72023.400	0.00	0.00	332516.436
0.40	360117.00	369190.814	0.70	955507.00	1424395.298
1.43	360117.00		2.19	955507.00	
	TOT	441214.214		TOT	1756911.734

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	230088.600	0.00	0.00	344761.608	0.00	0.00	119423.862
0.90	511308.00	687920.350	0.85	813117.00	1455091.385	0.66	361343.00	835455.689
2.25	511308.00		2.64	813117.00		2.97	361343.00	
	TOT	918008.950		TOT	1799852.993		TOT	954879.551



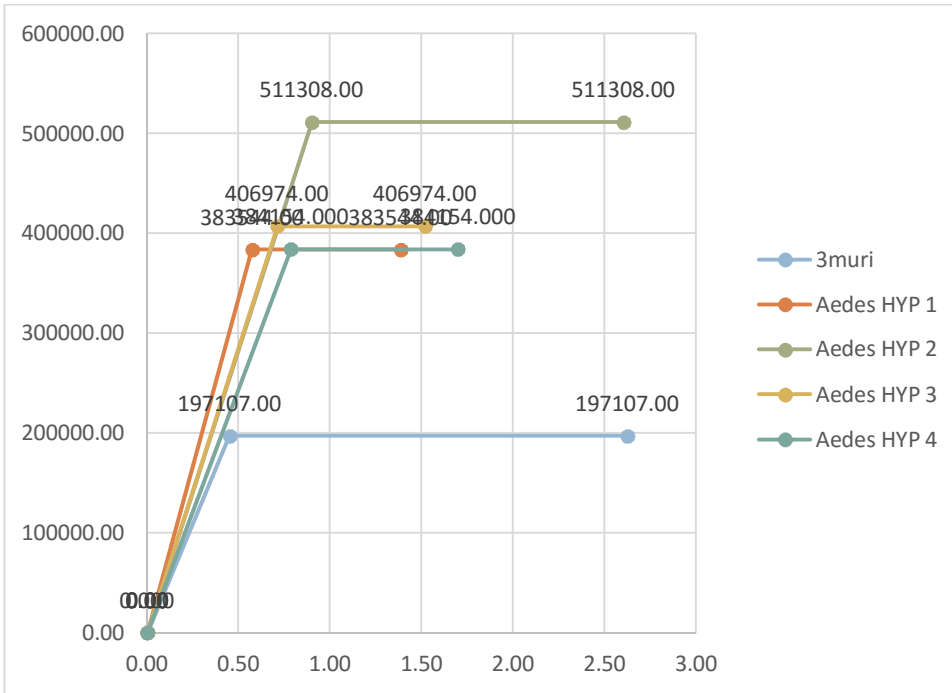
**c. Direzione +y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	300722.00	412500.00	407500.00	389375.00	382188.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	3.490	1.35	1.94	1.35	1.57
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	2.690	1.22	1.40	1.08	1.65
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		1.297	1.105	1.385	1.251	0.953
q*		3.54	1.67	1.80	1.41	1.90
T*	[s]	0.335	0.26	0.34	0.26	0.32
k*	[kN/m]	436227.24	669782.04	566795.88	571671.23	491195.79
F <sub>y</sub> *	[daN]	197107.00	383544.00	511308.00	406974.00	384154.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.45	0.57	0.90	0.71	0.78
d <sub>u</sub> *	[cm]	2.62	1.39	2.60	1.52	1.70
Energia dissipata	[daN·cm]	472871.549	421417.398	1101099.029	473335.254	501309.329

Δ				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-111778.00	-106778.00	-88653.00	-81466.00	-37.17	-35.51	-29.48	-27.09
2.14	1.55	2.14	1.92	61.26	44.50	61.32	55.07
1.47	1.29	1.61	1.05	54.54	47.99	59.89	38.85
0.19	-0.09	0.05	0.34	14.79	-6.72	3.56	26.53
1.87	1.74	2.13	1.64	52.71	49.10	60.17	46.41
0.08	0.00	0.07	0.01	22.99	-0.30	21.19	4.18
-233554.80	-130568.65	-135443.99	-54968.55	-53.54	-29.93	-31.05	-12.60
-186437.00	-314201.00	-209867.00	-187047.00	-94.59	-159.41	-106.47	-94.90
-0.12	-0.45	-0.26	-0.33	-27.33	-100.00	-58.00	-74.22
1.24	0.02	1.11	0.93	47.21	0.78	42.13	35.33
51454.15	-628227.48	-463.70	-28437.78	10.88	-132.85	-0.10	-6.01

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	44349.075	0.000	0.00	109885.36
0.45	197107.00	428522.474	0.573	383544.00	311532.04
2.62	197107.00		1.385	383544.00	
	TOT	472871.549			421417.40

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	230088.600	0.000	0.00	144679.26	0.000	0.000	150588.368
0.90	511308.00	871010.429	0.711	406974.00	328656.00	0.784	384154.000	350720.961
2.60	511308.00		1.519	406974.00		1.697	384154.000	
		1101099.03			473335.25			501309.33



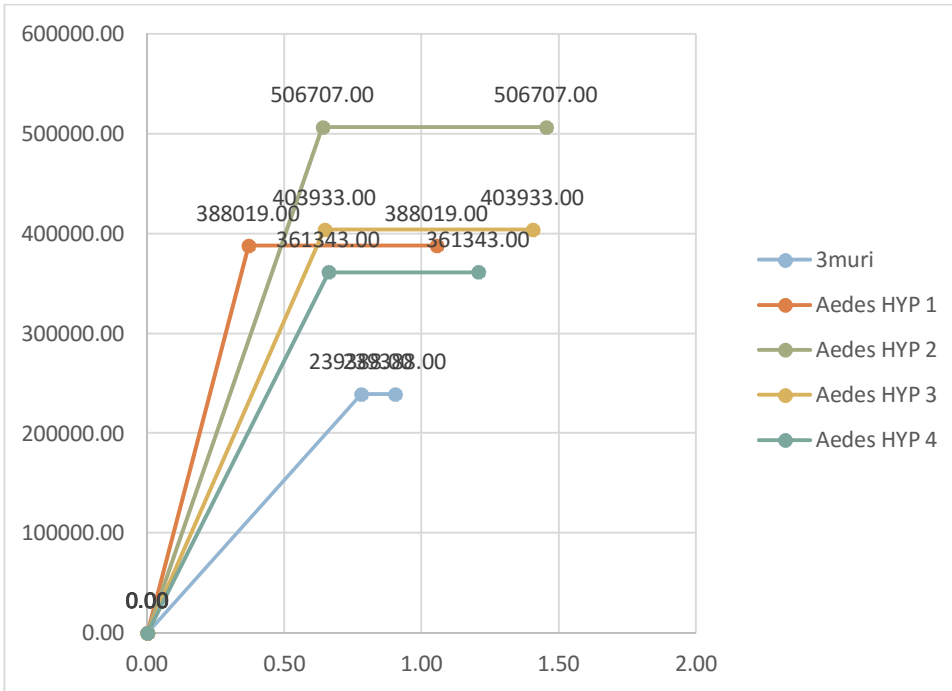
**d. Direzione -y**

		3muri	Aedes PCM HYP 1	Aedes PCM HYP 2	Aedes PCM HYP 3	Aedes PCM HYP 4
Taglio alla base	[daN]	269398.00	389688.00	387813.00	382813.00	356875.00
d <sub>u</sub> (capacità)	[cm]	1.20	1.03	1.08	1.25	1.12
d <sub>max</sub> (domanda)	[cm]	3.33	0.88	1.10	1.01	1.54
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>		0.36	1.17	0.98	1.24	0.72
q*		2.92	1.66	1.82	1.42	2.02
T*	[s]	0.401	0.21	0.28	0.25	0.30
k*	[kN/m]	304448.37	1050602.60	793356.82	627412.42	547668.21
F <sub>y</sub> *	[daN]	239388.00	388019.00	506707.00	403933.00	361343.00
d <sub>y</sub> *	[cm]	0.78	0.37	0.64	0.65	0.66
d <sub>u</sub> *	[cm]	0.90	1.05	1.45	1.40	1.21
Energia dissipata	[daN·cm]	122627.85	337500.198	574330.591	437237.026	316612.334

Δ				Differenze			
3muri- Aedes PCM HYP 1	3muri- Aedes PCM HYP 2	3muri- Aedes PCM HYP 3	3muri- Aedes PCM HYP 4	%	%	%	%
-120290.00	-118415.00	-113415.00	-87477.00	-44.65	-43.96	-42.10	-32.47
0.17	0.12	-0.05	0.09	14.25	9.92	-4.08	7.08
2.45	2.23	2.32	1.79	73.54	67.00	69.73	53.75
-0.81	-0.62	-0.88	-0.36	-224.12	-172.95	-243.85	-100.92
1.27	1.10	1.50	0.90	43.32	37.71	51.34	30.92
0.20	0.12	0.15	0.10	48.63	29.18	37.16	24.19
-746154.23	-488908.46	-322964.05	-243219.84	-245.08	-160.59	-106.08	-79.89
-148631.00	-267319.00	-164545.00	-121955.00	-62.09	-111.67	-68.74	-50.94
0.41	0.14	0.14	0.12	52.69	18.08	17.31	15.26
-0.15	-0.55	-0.50	-0.30	-16.85	-61.04	-55.72	-33.74
-214872.35	-451702.74	-314609.17	-193984.48	-175.22	-368.35	-256.56	-158.19

3muri			Aedes PCM HYP 1		
d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	93361.320	0.00	0.00	71589.506
0.78	239388.00	29266.533	0.37	388019.00	265910.693
0.90	239388.00		1.05	388019.00	
	TOT	122627.853		TOT	337500.198

Aedes PCM HYP 2			Aedes PCM HYP 3			Aedes PCM HYP 4		
d	F	Energia	d	F	Energia	d	F	Energia
[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]	[cm]	[daN]	[daN·cm]
0.00	0.00	161892.887	0.00	0.00	130268.393	0.00	0.00	119423.862
0.64	506707.00	412437.704	0.65	403933.00	306968.633	0.66	361343.00	197188.473
1.45	506707.00		1.40	403933.00		1.21	361343.00	
	TOT	574330.591		TOT	437237.026		TOT	316612.334



Si riporta i valori ottenuti per la valutazione degli indicatori di rischio sismico

**1) 3 muri**

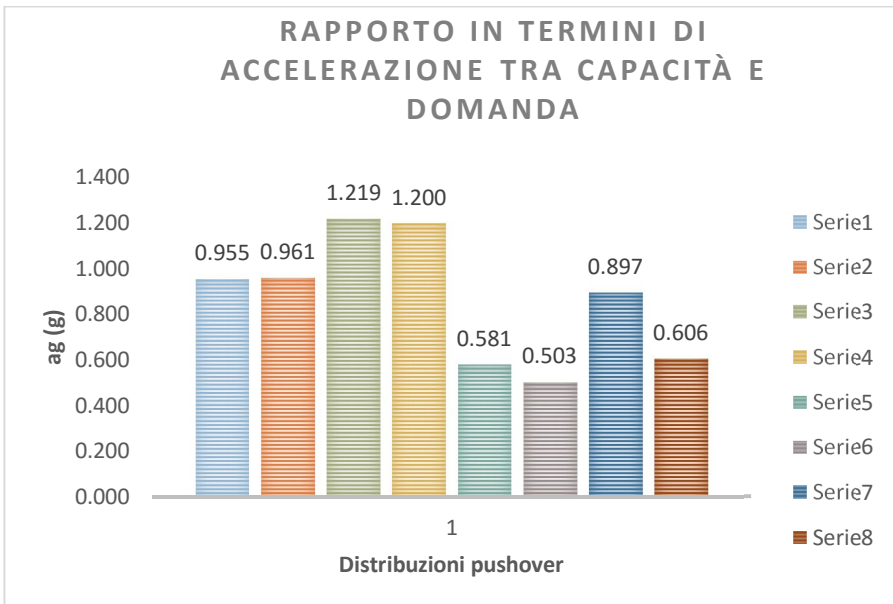
Nei grafici a seguire si riportano i valori relativi alla capacità della struttura in termini di accelerazione di picco al suolo e rapporto tra l'accelerazione di capacità e quella di domanda per le diverse distribuzioni analizzate durante le analisi pushover.

**3 muri**

	[g]	[m/s <sup>2</sup> ]	9.806
TR <sub>D</sub> (domanda)		[anni]	712
PGA <sub>D</sub>		[m/s <sup>2</sup> ]	1.550
		[g]	0.161
V <sub>R</sub>		[anni]	75
V <sub>N</sub>		[anni]	50
C <sub>U</sub>			1.5
P <sub>VR-SLV</sub>			0.10
P <sub>VR-SLC</sub>			0.05

		3muri							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	625	639	1461	1365	156	127	498	185
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.878	0.897	2.052	1.917	0.219	0.178	0.699	0.260
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		0.948	0.957	1.343	1.306	0.537	0.493	0.864	0.575
PGA <sub>C</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.480	1.490	1.890	1.860	0.900	0.780	1.390	0.940
	[g]	0.151	0.152	0.193	0.190	0.092	0.080	0.142	0.096
α PGA		0.955	0.961	1.219	1.200	0.581	0.503	0.897	0.606
P <sub>VR</sub>		0.11	0.11	0.05	0.05	0.38	0.45	0.14	0.33
	[%]	11.31	11.07	5.00	5.35	38.17	44.60	13.98	33.33
T <sub>R</sub>	[anni]	625	639	1461	1365	156	127	498	185

α TR- minima		0.493
α PGA- minima		0.503
TR <sub>C</sub> MINIMA	[anni]	127
PGA <sub>C</sub> MINIMA	[g]	0.080
V <sub>N</sub> MINIMA	[anni]	8.92



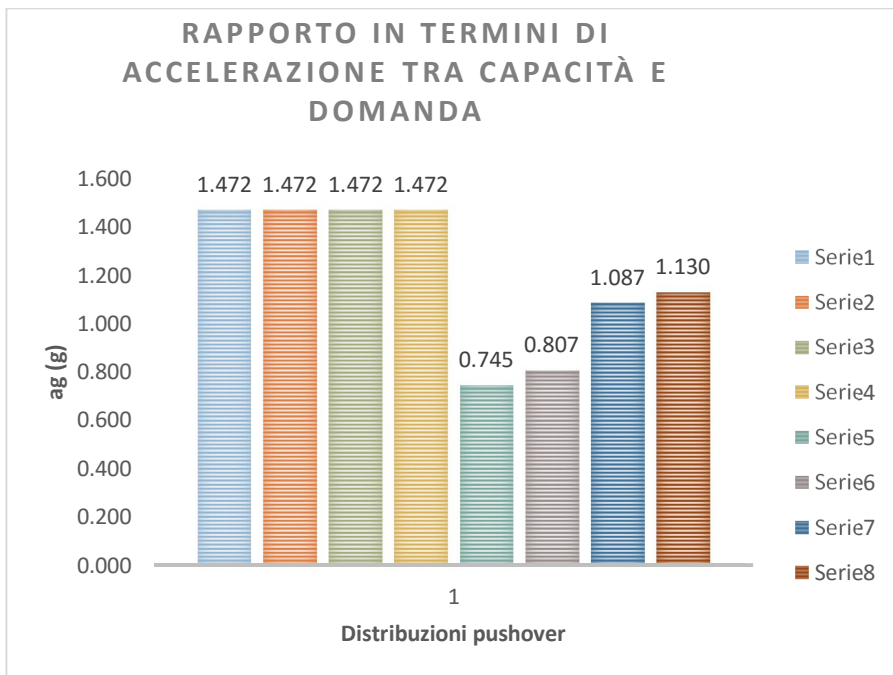
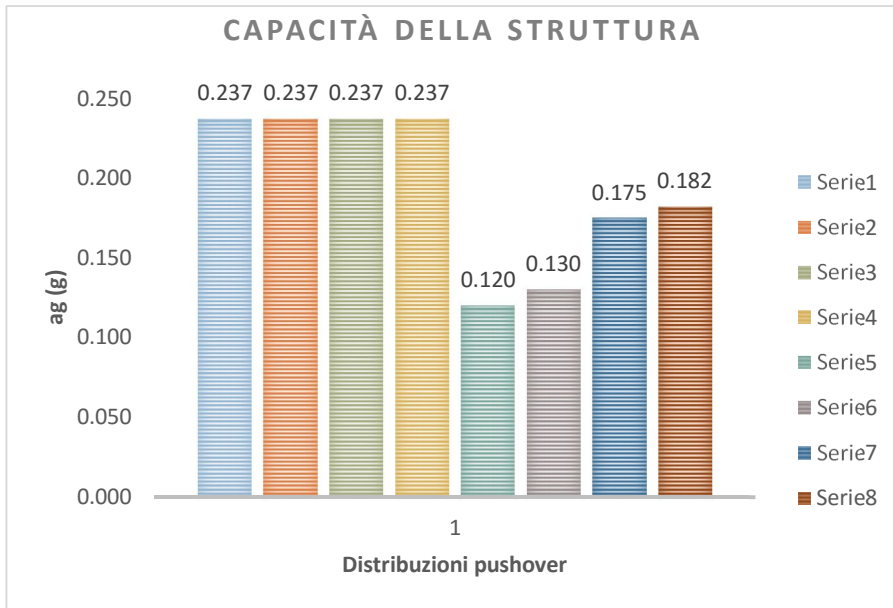
**2) Aedes- Hyp. 1**

**Aedes**

[g]	[m/s <sup>2</sup> ]	9.806
TR <sub>D</sub> (domanda)	[anni]	712
PGA <sub>D</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.579
	[g]	0.161
V <sub>R</sub>	[anni]	75
V <sub>N</sub>	[anni]	50
C <sub>U</sub>		1.5
P <sub>VR-SLV</sub>		0.10
P <sub>VR-SLC</sub>		0.05

		HYP 1							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	317	389	920	1021
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		3.476	3.476	3.476	3.476	0.445	0.546	1.292	1.434
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.667	1.667	1.667	1.667	0.718	0.780	1.111	1.159
PGA <sub>C</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.324	2.324	2.324	2.324	1.177	1.275	1.716	1.785
	[g]	0.237	0.237	0.237	0.237	0.120	0.130	0.175	0.182
α PGA		1.472	1.472	1.472	1.472	0.745	0.807	1.087	1.130
P <sub>VR</sub>		0.03	0.03	0.03	0.03	0.21	0.18	0.08	0.07
	[%]	2.98	2.98	2.98	2.98	21.07	17.54	7.83	7.08
T <sub>R</sub>	[anni]	2475	2475	2475	2475	317	389	920	1021

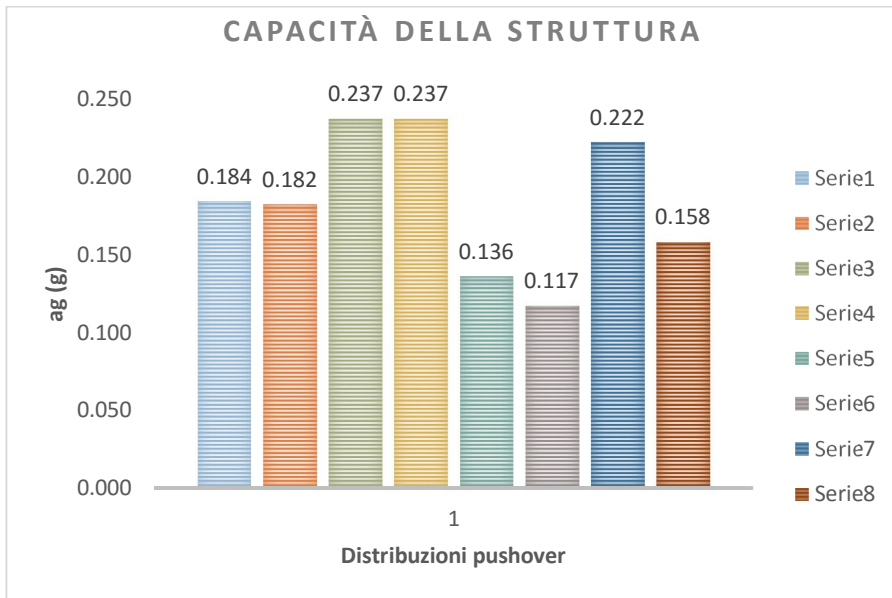
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	317	389	920	1021
V <sub>R</sub>	[anni]	260.77	260.77	260.77	260.77	33.40	40.99	96.93	107.57
V <sub>N</sub>	[anni]	173.84	173.84	173.84	173.84	22.27	27.32	64.62	71.72

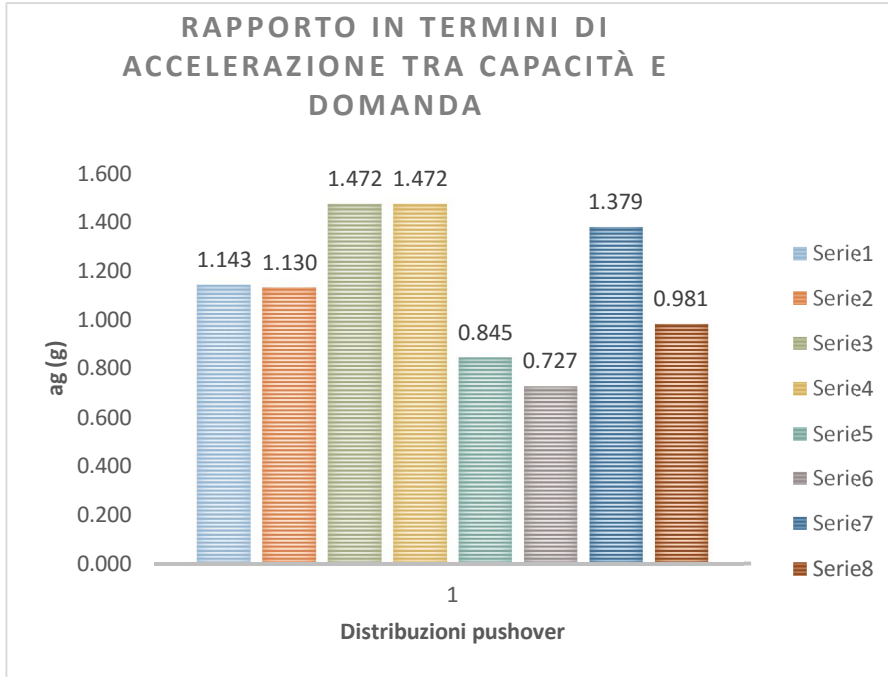


**3) Aedes- Hyp. 2**

		HYP 2							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1060	1021	2475	2475	445	297	2077	683
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		1.489	1.434	3.476	3.476	0.625	0.417	2.917	0.959
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.177	1.159	1.667	1.667	0.825	0.699	1.551	0.983
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	1.804	1.785	2.324	2.324	1.334	1.147	2.177	1.549
	[g]	0.184	0.182	0.237	0.237	0.136	0.117	0.222	0.158
α PGA		1.143	1.130	1.472	1.472	0.845	0.727	1.379	0.981
P <sub>VR</sub>		0.07	0.07	0.03	0.03	0.16	0.22	0.04	0.10
	[%]	6.83	7.08	2.98	2.98	15.51	22.32	3.55	10.40
T <sub>R</sub>	[anni]	1060	1021	2475	2475	445	297	2077	683

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	1060	1021	2475	2475	445	297	2077	683
V <sub>R</sub>	[anni]	111.68	107.57	260.77	260.77	46.89	31.29	218.83	71.96
V <sub>N</sub>	[anni]	74.45	71.72	173.84	173.84	31.26	20.86	145.89	47.97

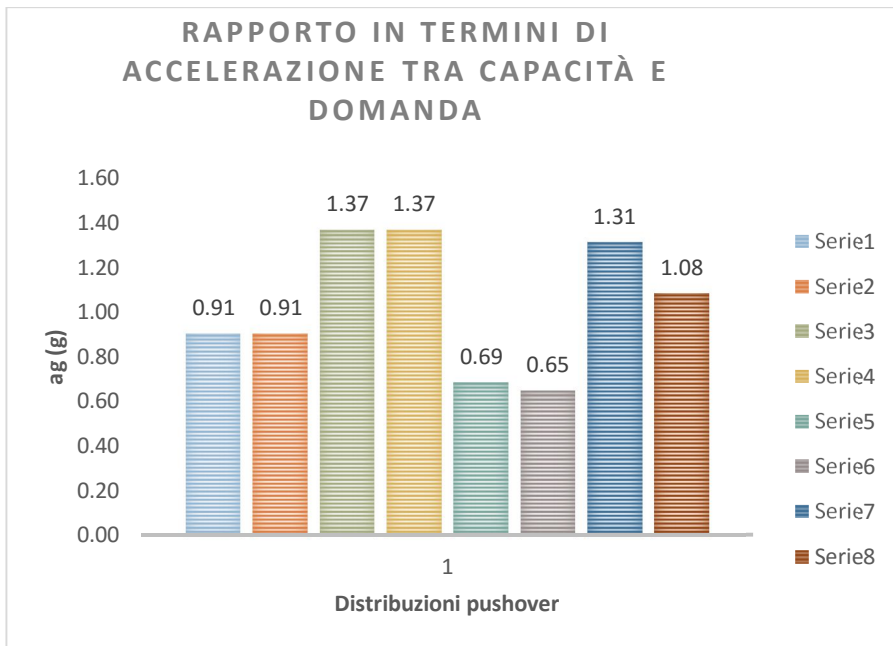
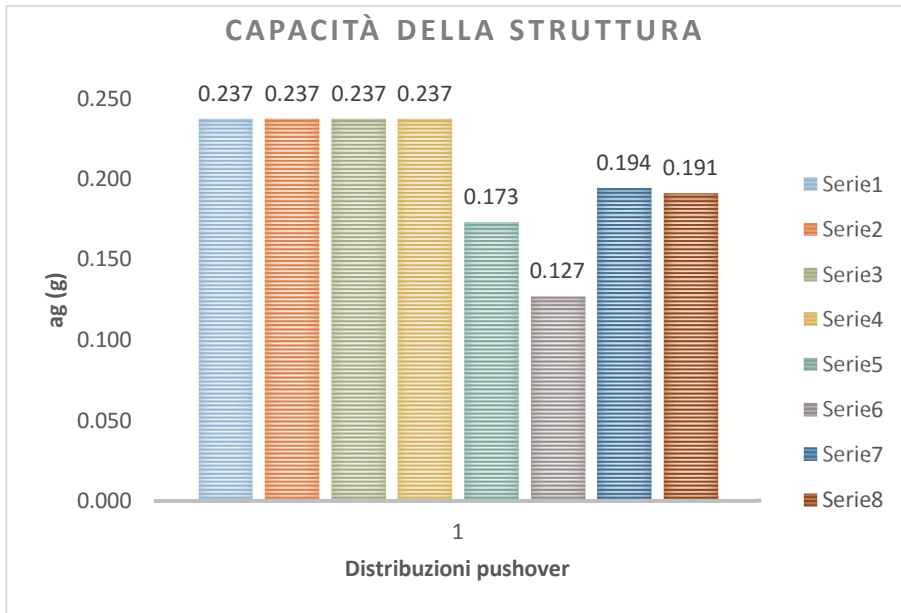




**4) Aedes- Hyp. 3**

		HYP 3							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>c</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	875	367	1284	1220
α TR (TR <sub>c</sub> /TR <sub>D</sub> )		3.476	3.476	3.476	3.476	1.229	0.515	1.803	1.713
α TR (TR <sub>c</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.667	1.667	1.667	1.667	1.088	0.762	1.273	1.247
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.324	2.324	2.324	2.324	1.696	1.245	1.902	1.873
	[g]	0.237	0.237	0.237	0.237	0.173	0.127	0.194	0.191
α PGA		1.472	1.472	1.472	1.472	1.075	0.789	1.205	1.186
P <sub>VR</sub>		0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.18	0.06	0.06
	[%]	2.98	2.98	2.98	2.98	8.21	18.48	5.67	5.96
T <sub>R</sub>	[anni]	2475	2475	2475	2475	875	367	1284	1220

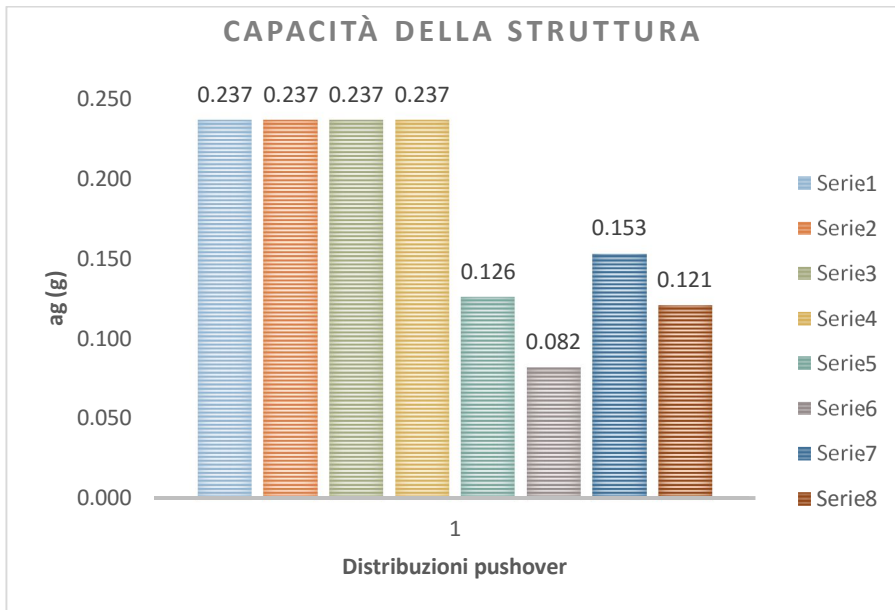
TR <sub>c</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	875	367	1284	1220
V <sub>R</sub>	[anni]	260.77	260.77	260.77	260.77	92.19	38.67	135.28	128.54
V <sub>N</sub>	[anni]	173.84	173.84	173.84	173.84	61.46	25.78	90.19	85.69

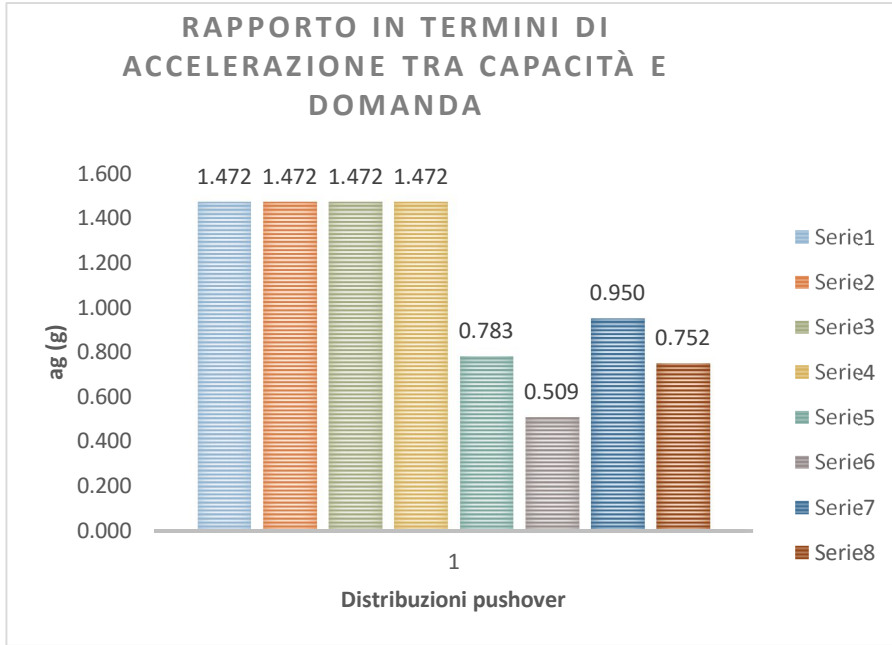


**5) Aedes- Hyp. 4**

		HYP 4							
		1 modo- X	1 modo- -X	Masse- X	Masse- - X	1 modo- Y	1 modo- -Y	Masse- Y	Masse- - Y
TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	359	123	622	331
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		3.476	3.476	3.476	3.476	0.504	0.173	0.874	0.465
α TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup>		1.667	1.667	1.667	1.667	0.755	0.487	0.946	0.730
PGA <sub>c</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.324	2.324	2.324	2.324	1.236	0.804	1.500	1.187
	[g]	0.237	0.237	0.237	0.237	0.126	0.082	0.153	0.121
α PGA		1.472	1.472	1.472	1.472	0.783	0.509	0.950	0.752
P <sub>VR</sub>		0.03	0.03	0.03	0.03	0.19	0.46	0.11	0.20
	[%]	2.98	2.98	2.98	2.98	18.85	45.65	11.36	20.27
T <sub>R</sub>	[anni]	2475	2475	2475	2475	359	123	622	331

TR <sub>C</sub> (capacità)	[anni]	2475	2475	2475	2475	359	123	622	331
V <sub>R</sub>	[anni]	260.77	260.77	260.77	260.77	37.82	12.96	65.53	34.87
V <sub>N</sub>	[anni]	173.84	173.84	173.84	173.84	25.22	8.64	43.69	23.25





Si propone una tabella riassuntiva delle peggiori condizioni riscontrate.

		HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4
		1 modo- -Y	1 modo- Y	1 modo- -Y	1 modo- -Y
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.445	0.417	0.515	0.173
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> - minima		0.718	0.699	0.762	0.487
$\alpha$ PGA- minima		0.745	0.727	0.789	0.509
TR <sub>C</sub> MINIMA	[anni]	317	297	367	123
PGA <sub>C</sub> MINIMA	[g]	0.120	0.117	0.127	0.082
V <sub>N</sub> MINIMA	[anni]	22.27	20.86	25.78	8.64

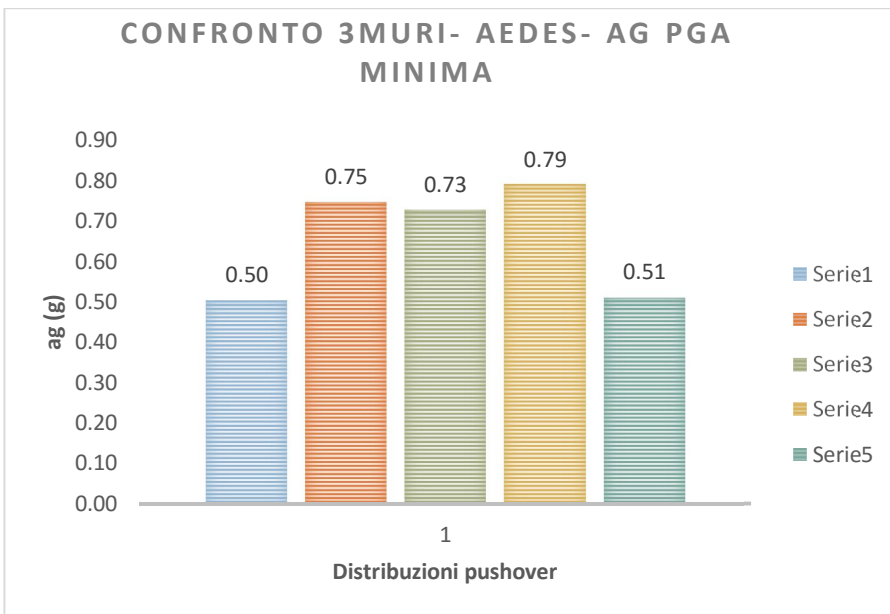
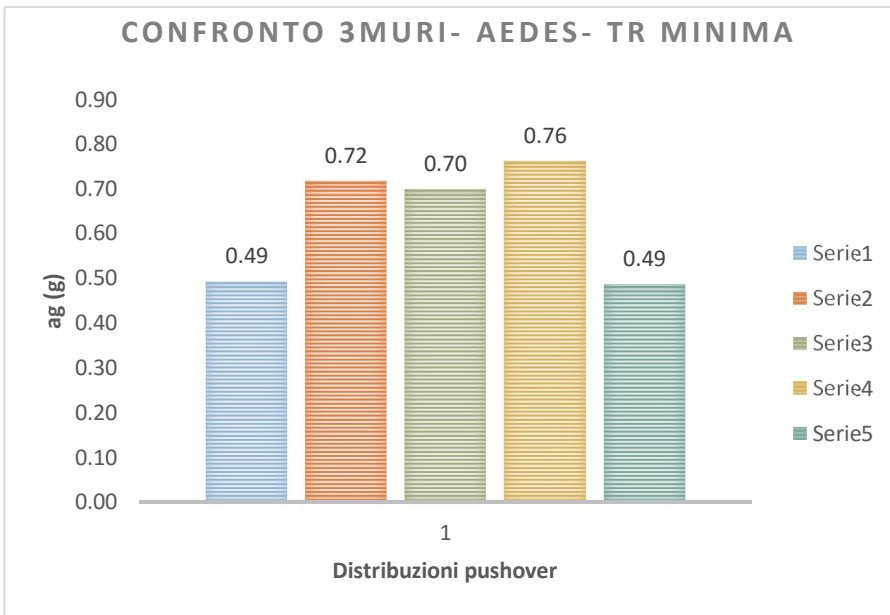
## 6) Confronto

### Comparazione

		3 muri	Aedes				Differenze			
			HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
PGA <sub>C</sub>	[g]	0.08	0.12	0.12	0.13	0.08	-50.86	-47.09	-59.66	-3.09
PGA <sub>D</sub>		0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
$\alpha$ PGA- minima		0.49	0.75	0.73	0.79	0.51	-50.86	-47.09	-59.66	-3.09

### Comparazione

		3 muri	Aedes				Differenze			
			HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
$\alpha$ PGA- minima		0.50	0.75	0.73	0.79	0.51	-48.11	-44.41	-56.75	-1.21
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )		0.18	0.45	0.42	0.52	0.17	-149.61	-133.86	-188.98	3.15
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> - minima		0.49	0.72	0.70	0.76	0.49	-45.50	-41.67	-54.51	1.30



### 6.5.4 Analisi semplificata per valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale

Alle analisi pushover sono state affiancate anche le valutazioni mediante metodo semplificato LV1 proposto dalle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale. Tale valutazione è stata svolta avvalendosi del software Aedes e secondo le quattro ipotesi di vincolamento già esposte; si riportano i valori ottenuti.

## Verifica semplificata per Ville e Palazzi DPCM 9-2-2011

		Aedes- HYP 1	Aedes- HYP 2	Aedes- HYP 3	Aedes- HYP 4
Peso sismico totale	[kN]	23573.970	23573.970	23573.970	23573.970
Periodo proprio	[s]	0.411	0.411	0.411	0.411
q		2.250	2.250	2.250	2.250

Collasso		Uniforme II piano in Y	Uniforme II piano in Y	Uniforme II piano in Y	Uniforme II piano in Y
----------	--	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

#### Spettro di progetto

Domanda	[g]	0.26	0.26	0.26	0.26
Capacità	[g]	0.11	0.07	0.12	0.11

#### PGA

Domanda	[g]	0.16	0.16	0.16	0.16
Capacità	[g]	0.06	0.06	0.07	0.06

#### TR

Domanda	[anni]	712.00	712.00	712.00	712.00
Capacità	[anni]	66.00	55.00	93.00	68.00

#### Indicatori rischio sismico

$\alpha$ PGA- minima		0.39	0.37	0.45	0.40
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>B</sub> )		0.09	0.08	0.13	0.10
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>B</sub> ) <sup>0.41</sup> - minima		0.38	0.35	0.43	0.38

Si evidenziano valori degli indici di sicurezza in generale inferiori a quelli ottenuti con l'analisi pushover come atteso, essendo la valutazione speditiva basata sull'analisi sismica lineare che risulta cautelativa rispetto all'analisi pushover.

Le analisi colgono univocamente il tipo di vulnerabilità che porta al collasso indicando come condizione peggiore il collasso per piano soffice del secondo piano in direzione y e come riscontrato anche dal lesionamento provocato dal sisma del 2012.

Si riporta la tabella comparativa tra i valori determinati per l'analisi pushover e per la valutazione speditiva, la variazione massima è del 51%.

	Aedes- pushover				Aedes LV1				Differenze			
	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
$\alpha$ PGA-minima	0.75	0.73	0.79	0.51	0.39	0.37	0.45	0.40	47.50	50.83	39.17	46.67

Si riporta infine nella tabella un confronto tra i valori ottenuti dalla pushover in 3muri confrontati con la media dei valori determinati dalle analisi di pushover in Aedes e la media dei valori determinati dall'analisi speditiva in Aedes, si nota una variazione tra i primi due termini inferiore al 38% e nel secondo pari al 20%.

	3muri	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA
				%	%
$\alpha$ PGA- minima	0.50	0.69	0.40	-37.62	20.08

### 6.5.5 Commento alle analisi

Per quanto riguarda le analisi pushover, le differenze riscontrate in fase di analisi evidenziano quanto segue:

- 1) Per il taglio alla base le differenze sono notevoli nell'ordine del 70%;
- 2) Per la massa partecipante le differenze sono pari al 56% in direzione x e al 30% in direzione y;
- 3) Per lo spostamento ultimo si evidenziano variazioni massime del 61%;
- 4) Per il valore di  $q^*$  le variazioni sono nell'ordine del 68%;
- 5) Per il fattore di partecipazione modale si ha una variabilità del 66% in direzione x e del 44% in direzione y;
- 6) Per le rigidezze si evidenzia una variazione massima pari al 245%;
- 7) Per quanto riguarda il valore delle accelerazioni di capacità della struttura si nota una variazione massima del 60%;
- 8) Gli indici di sicurezza calcolati come rapporto tra le accelerazioni di picco di capacità e domanda, rapporto tra il tempo di ritorno di capacità e domanda elevato allo 0.41 in modo da poterlo confrontare con il rapporto in termini di accelerazione hanno variazioni massime pari a rispettivamente al 57% ed al 55%.

Si riporta una tabella riassuntiva delle massime variazioni calcolate.

	A,+X	A,-X	E,+X	E-X	A,+Y	A,-Y	E,+Y	E,-Y	Valori massimi
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
m*	55.90				30.71				55.90
$\Gamma$	65.67				44.06				65.67
Taglio alla base	11.41	8.34	20.81	4.39	77.08	69.56	37.17	44.65	77.08
d <sub>u</sub> (capacità)	60.26	47.18	57.12	45.91	56.02	12.80	61.32	14.25	61.32
d <sub>max</sub> (domanda)	75.35	69.72	80.41	76.88	69.39	65.12	59.89	73.54	80.41
d <sub>u</sub> / d <sub>max</sub>	135.35	135.88	126.88	166.67	90.84	184.71	26.53	243.85	243.85
q*	61.22	57.56	52.72	52.50	67.75	66.03	60.17	51.34	67.75
T*	14.05	19.31	16.02	38.27	32.22	40.98	22.99	48.63	48.63
k*	65.83	38.49	83.04	51.94	184.51	161.47	53.54	245.08	245.08
F <sub>y</sub> *	199.53	180.75	182.96	165.33	309.25	206.54	159.41	111.67	309.25
d <sub>y</sub> *	246.19	230.25	151.59	125.00	97.27	52.17	100.00	52.69	246.19
d <sub>u</sub> *	124.80	111.51	73.38	108.61	40.07	90.56	47.21	61.04	124.80
Energia dissipata	514.00	409.60	281.71	307.93	307.86	539.82	132.85	368.35	539.82

### Comparazione

	3 muri	Aedes				Differenze			
		HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
$\alpha$ PGA- minima	0.50	0.75	0.73	0.79	0.51	-48.11	-44.41	-56.75	-1.21
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> )	0.18	0.45	0.42	0.52	0.17	-149.61	-133.86	-188.98	3.15
$\alpha$ TR (TR <sub>C</sub> /TR <sub>D</sub> ) <sup>0.41</sup> -minima	0.49	0.72	0.70	0.76	0.49	-45.50	-41.67	-54.51	1.30

Le analisi hanno evidenziato che si ottiene un'estrema variabilità di valori indagati anche in termini di valore dell'indice di sicurezza che arriva al 60%. Si può affermare che le analisi non colgono in maniera adeguata il comportamento della struttura a causa delle condizioni della stessa.

In particolare il piano sottotetto risulta affetto da una grave vulnerabilità legata a pochi elementi puntuali che sostengono la copertura.

La situazione si rivela particolarmente grave se si osserva l'ulteriore mancanza di un solaio di interpiano; il fatto che Aedes sovrastimi il fattore di sicurezza è legato al fatto già ricordato per il caso dell'Ospedale emiliano della diversa modellazione della copertura quando essa non sia in grado di fornire un'efficace capacità di contrasto al sisma.

Come evidenziato dai manuali d'uso dei programmi e verificato durante l'analisi del Padiglione Morselli la modellazione di Aedes che teoricamente più si avvicina a quella di 3muri e quella che ipotizza i nodi vincolati a muoversi nel piano e zone rigide con diffusione a 30° tuttavia nel caso in esame occorre fare un'ulteriore considerazione riportata nel seguito.

Per quanto concerne le analisi speditive LV1 si può affermare che colgono univocamente il tipo di vulnerabilità che porta al collasso identificandolo con il collasso per piano soffice del secondo piano in direzione y e tale direzione risulta effettivamente carente di murature, la funzione resistente è pressochè affidata a pilastri puntuali in conglomerato cementizio armato.

Si riporta la tabella comparativa tra i valori determinati per l'analisi pushover e per la valutazione speditiva, la variazione massima è del 51%

	Aedes- pushover				Aedes LV1				Differenze			
	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	HYP 1	HYP 2	HYP 3	HYP 4	%	%	%	%
a PGA-minima	0.75	0.73	0.79	0.51	0.39	0.37	0.45	0.40	47.50	50.83	39.17	46.67

Si riporta infine nella tabella un confronto tra i valori ottenuti dalla pushover in 3muri confrontati con la media dei valori determinati dalle analisi di pushover in Aedes e la media dei valori determinati dall'analisi speditiva in Aedes, si nota una variazione tra i primi due termini inferiore all'38% e nel secondo pari al 60%.

	3muri	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA	Aedes- pushover- MEDIA	Aedes LV1- MEDIA
				%	%
a PGA- minima	0.50	0.69	0.40	-37.62	20.08

Si può quindi affermare la modellazione globale non coglie adeguatamente la condizione reale di una struttura in cui vi sono forti disomogeneità plano- altimetriche.

## 6.6 VALUTAZIONI SULLA MODELLAZIONE PROPOSTA DAI SOFTWARES

La modellazione a telaio si è dimostrata ancora una volta una schematizzazione che permette con un onere computazionale ridotto di cogliere adeguatamente le caratteristiche delle strutture indagate ed il meccanismo di collasso globale che gli è proprio.

Mediante la comparazione tra le diverse modellazioni proposte è stato possibile identificare le diverse caratteristiche dei softwares indagati che vengono sintetizzate nel seguito.

Nonostante le differenze è stato possibile dimostrare l'analogia tra i valori ottenuti dai due softwares sotto le medesime ipotesi: 3muri può essere considerato un software di uso più immediato in cui la componente dovuta alla sensibilità del progettista si fa sentire in maniera minore poiché molte delle scelte di calcolo e modellazione sono svolte automaticamente dal programma (rimane unicamente la possibilità di modifica della mesh del telaio), ciò determina per gli utenti meno esperti una minore possibilità di ottenere valori errati, in più presenta un'ottima velocità di esecuzione del calcolo.

Rimane aperto il tema legato all'effettivo utilizzo di solai con rigidità intermedia tra infinitamente rigida ed infinitamente flessibile.

Aedes PCM offre una maggiore flessibilità nella scelta dei parametri richiedendo una maggiore consapevolezza nell'utilizzo, con maggiore possibilità di ottenere valori errati per un utilizzatore non esperto, i tempi di calcolo risultano maggiori del software concorrente.

### **1) 3muri**

Nel seguito vengono illustrate le ipotesi sottese al software 3 muri.

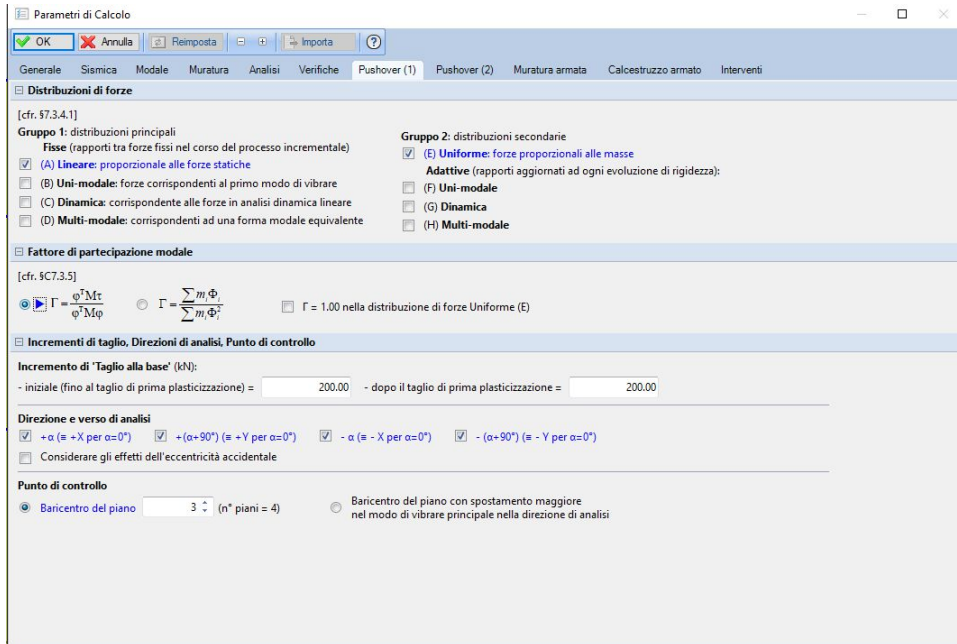
- 1) Lavora con una modellazione a telaio in cui si ipotizza un vincolamento nel piano dei nodi appartenenti ai pannelli murari;
- 2) è possibile introdurre solai infinitamente rigidi oppure, in funzione delle caratteristiche del solaio scelto, il programma permette la definizione di una rigidità variabile ricompresa tra gli estremi di infinitamente flessibile ed infinitamente rigida;
- 3) l'identificazione delle zone rigide avviene tramite un criterio che semplifica l'individuazione di tale aree proposta dal Prof. Dolce: nei pannelli non di estremità le zone rigide sono pari alle aree di intersezione maschio- fascia, nei pannelli di estremità le zone rigide sono determinate dimezzando l'area ottenuta dall'intersezione; è comunque possibile modificare manualmente i valori proposti;
- 4) l'analisi pushover viene condotta fino a perdita di equilibrio corrispondente ad una riduzione del taglio massimo per SLU pari al 20% come indicato da norma (Circolare n°617 Punto C7.8.1.5.4);
- 5) il controllo dello spostamento ultimo avviene mediante drift di piano;
- 6) il software presenta un ottimo rapporto tempo/risultati, dimostrandosi un ottimo strumento di lavoro in campo professionale

### **2) Aedes PCM**

Nel seguito vengono illustrate le ipotesi sottese al software Aedes PCM

- 1) Il programma propone sia il vincolamento nel piano dei nodi di estremità delle aste che assenza di vincolamento;
- 2) è possibile introdurre solai o infinitamente rigidi nel piano o infinitamente deformabili ( e non soluzioni intermedie);
- 3) Nel software è possibile scegliere tra una modellazione delle zone rigide data dall'intersezione maschio- fascia, e una diffusione a 30°, nonché modificare manualmente tali valori;
- 4) Per l'analisi pushover è possibile definire 3 diversi limiti per l'arresto dell'analisi: posta pari al 20% la riduzione del taglio a SLU come da norma, è possibile arrestare l'analisi al raggiungimento della prima riduzione rispetto al massimo relativo (I possibilità), al massimo assoluto (II possibilità); ultima configurazione equilibrata corrispondente ad una riduzione del taglio rispetto al massimo assoluto (III possibilità).

- 5) il controllo dello spostamento ultimo avviene mediante drift di piano, rimane possibile selezionare un controllo di duttilità definito come un multiplo dello spostamento al limite elastico;
- 6) è possibile determinare il fattore di partecipazione modale in due casi come riportato nell'immagine



per le analisi svolte si è scelta la prima opzione come indicato al Punto C7.3.4.1 della Circolare n°617;

- 7) il software si dimostra più lento del concorrente in particolare se si applica la possibilità di incremento di taglio autocorrettivo per identificare i punti di collasso dei singoli elementi strutturali;

### 3) Aspetti comuni

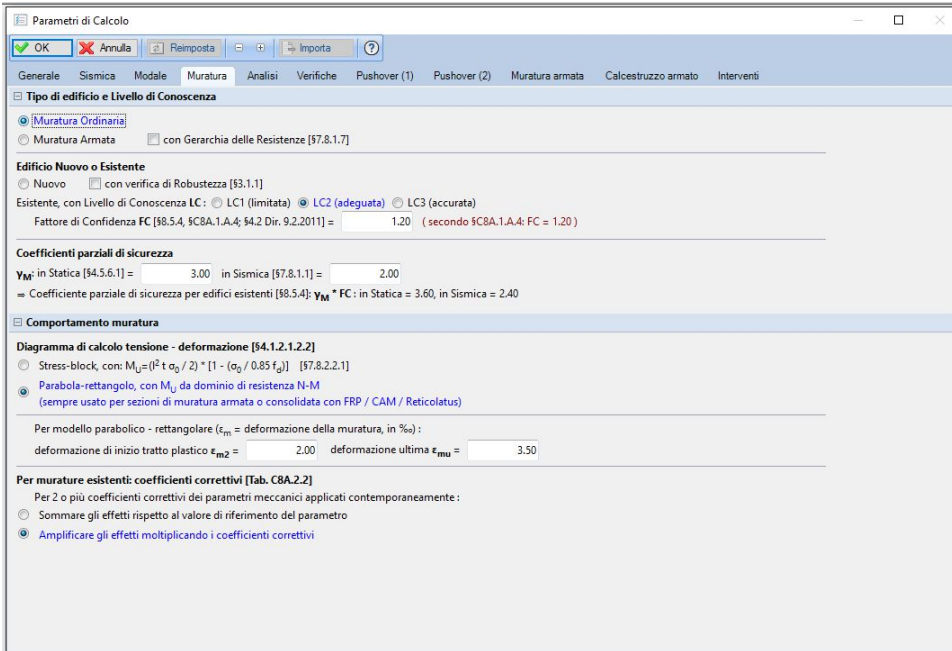
Le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati sono state definite in modo identico nei due software che tuttavia lavorano in modo diverso per perseguire il medesimo obiettivo come descritto nel seguito.

#### a. Definizione materiale muratura

In 3muri la muratura automaticamente viene definita come un materiale elastico perfettamente plastico; in Aedes tale definizione avviene nella finestra "Parametri di calcolo- Muratura" in cui tale opzione è alternativa alla definizione del diagramma tensione- deformazione mediante stress- block. Nella definizione del diagramma con andamento parabola- rettangolo vengono definiti la deformazione di inizio tratto plastico  $\epsilon_{m2}$  pari a 0.2% e la deformazione ultima  $\epsilon_{mu}$  pari a 0.35% come indicato dall'Eurocodice 6.

Entrambi i softwares hanno un coefficiente di sicurezza della muratura pari a 3 in statica e 2 in sismica e sono in grado di tenere conto del livello di conoscenza della struttura andando ad incrementare il coefficiente di sicurezza del FC, nell'analisi statica non lineare i valori di calcolo della resistenza si

ottengono dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza trascurando il coefficiente di sicurezza del materiale.



**b. Verifiche elementi in muratura**  
**i. Verifiche a pressoflessione**

Le analisi condotte hanno eseguito le verifiche a pressoflessione e taglio per fessurazione diagonale come indicato al Punto C8.7.1.5 della Circolare n°617.

Il criterio di verifica a pressoflessione è indicato al Punto 7.8.2.2.1 delle NTC2008.

La verifica a pressoflessione di una sezione di un elemento strutturale si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il momento resistente calcolato assumendo che la muratura non reagisca a trazione ed un'opportuna distribuzione non lineare delle compressioni.

Nel caso di una sezione rettangolare vale la formulazione seguente:

$$M_u = (l^2 \cdot t \cdot \sigma_0 / 2) \cdot (l - \sigma_0 / 0.85 \cdot f_d)$$

dove:

$M_u$  è il momento corrispondente al collasso per pressoflessione;

$l$  è la lunghezza complessiva della parete (inclusiva della zona tesa);

$t$  è lo spessore della zona compressa della parete;

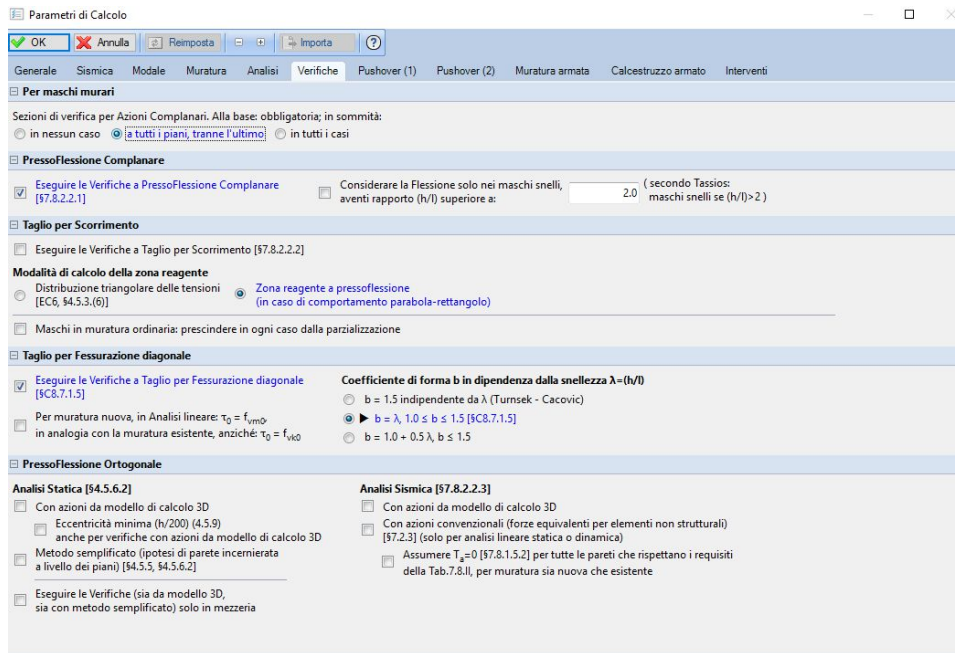
$\sigma_0$  è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ( $=P/(l \cdot t)$ ), con  $P$  forza assiale agente positiva se di compressione, se  $P$  è di trazione ( $M_u=0$ );

$f_d=f_k/\gamma_M$  è la resistenza a compressione di calcolo della muratura.

Le relazione momento- rotazione viene considerata elastica perfettamente plastica

Nel caso di analisi statica non lineare la resistenza a pressoflessione viene calcolata ponendo  $f_d$  pari al valore medio della resistenza a compressione della muratura per edifici di nuova costruzione e definendo  $f_d=f_k/FC$  per muratura esistente.

Per ottenere tale valore in Aedes è necessario spuntare all'interno della cartella dei "Parametri di calcolo- Verifiche" l'apposita voce.



In 3muri la verifica viene eseguita automaticamente

**ii. Verifiche a taglio per fessurazione diagonale**

Per gli edifici esistenti in muratura la resistenza a taglio di calcolo per azioni nel piano di un pannello può essere calcolata con un criterio di rottura per fessurazione diagonale.

Nel caso di muratura irregolare o caratterizzata da blocchi non particolarmente resistenti la resistenza a taglio viene calcolata come indicata al Punto C8.7.1.5 della Circolare n°617

$$V_t = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot \tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_{0d}}}$$

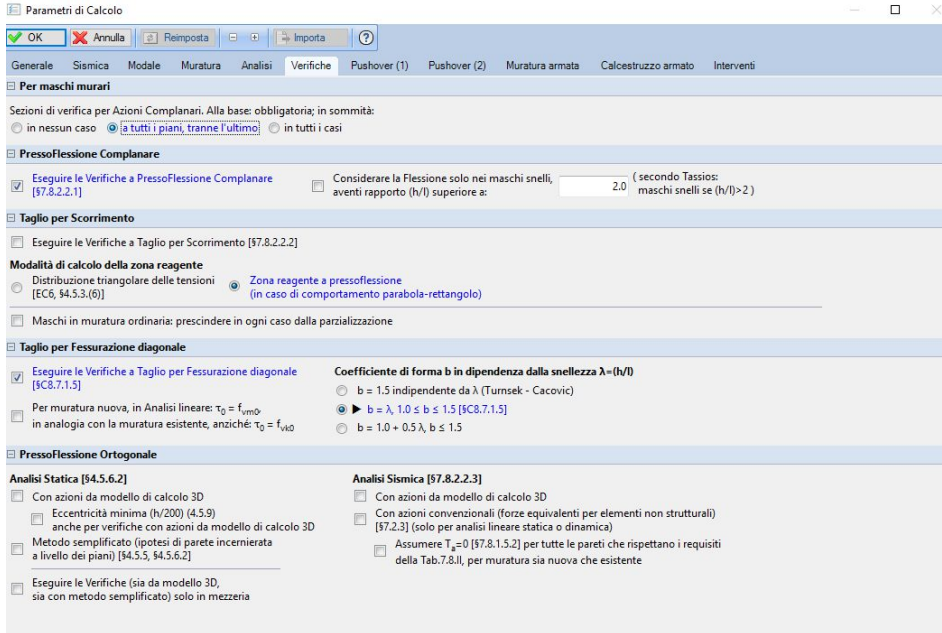
dove:

- ✓ l: è la lunghezza del pannello
- ✓ t: è lo spessore della parete;
- ✓  $\sigma_0$  è la tensione normale media riferita all'area totale della sezione ( $\_P/lt$ , con P forza assiale agente positiva se di compressione
- ✓  $f_{td}$  è la resistenza a trazione per fessurazione diagonale definita come

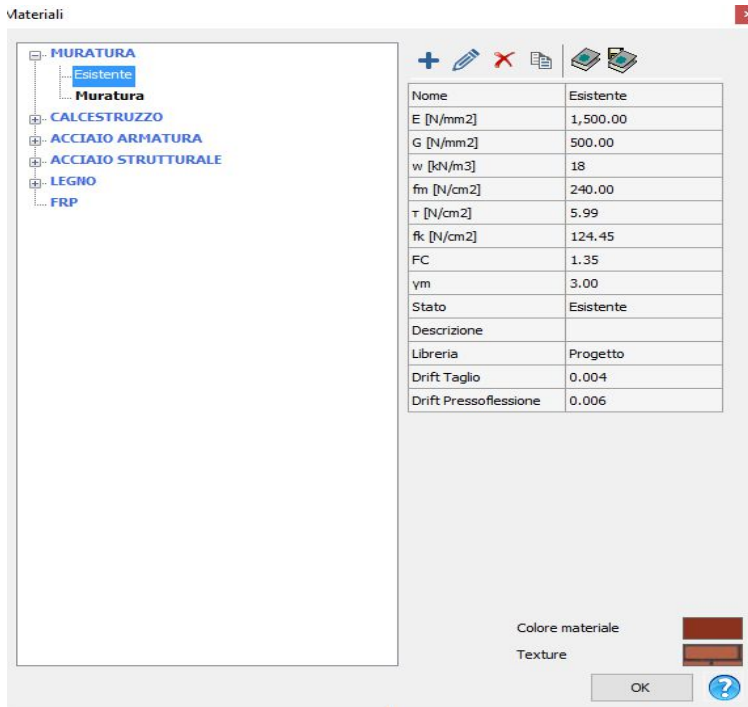
$$f_{td} = 1.5 \cdot \tau_{0d}$$

- ✓  $\tau_{0d}$  è la resistenza a taglio di riferimento della muratura
- ✓ b è un coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere  $1 \leq b = h/l \leq 1.5$ , dove h è l'altezza del pannello.

Per ottenere tale valore in Aedes è necessario spuntare all'interno della cartella dei "Parametri di calcolo- Verifiche" l'apposita voce.




In 3 muri tale scelta avviene all'interno della definizione del materiale muratura scegliendo il tipo di legame Turnšek e Cačovic




Proprietà materiale Modifica

Tipo **Muratura**

Nome

Colore materiale 

Texture 

E [N/mm <sup>2</sup> ]	1500
G [N/mm <sup>2</sup> ]	500
w [N/m <sup>3</sup> ]	18
f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	240
τ [N/cm <sup>2</sup> ]	5.99
f <sub>k</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	124.45
FC	1.35
γ <sub>m</sub>	3
Drift Taglio	0.004
Drift Pressoflessione	0.006

Condizione del materiale

Esistente  Nuovo

Rigidezza fessurata

Definizione utente

Tipo legame

Descrizione

Libreria **Progetto**

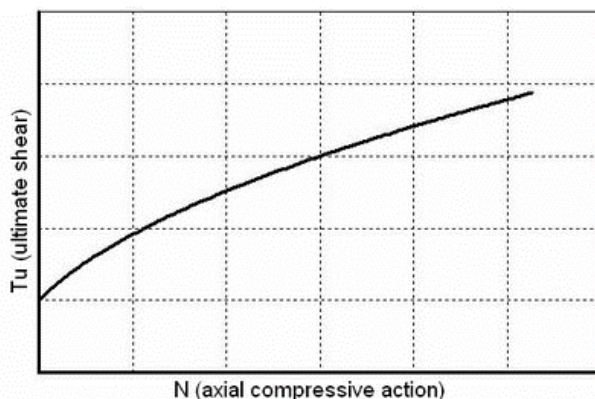
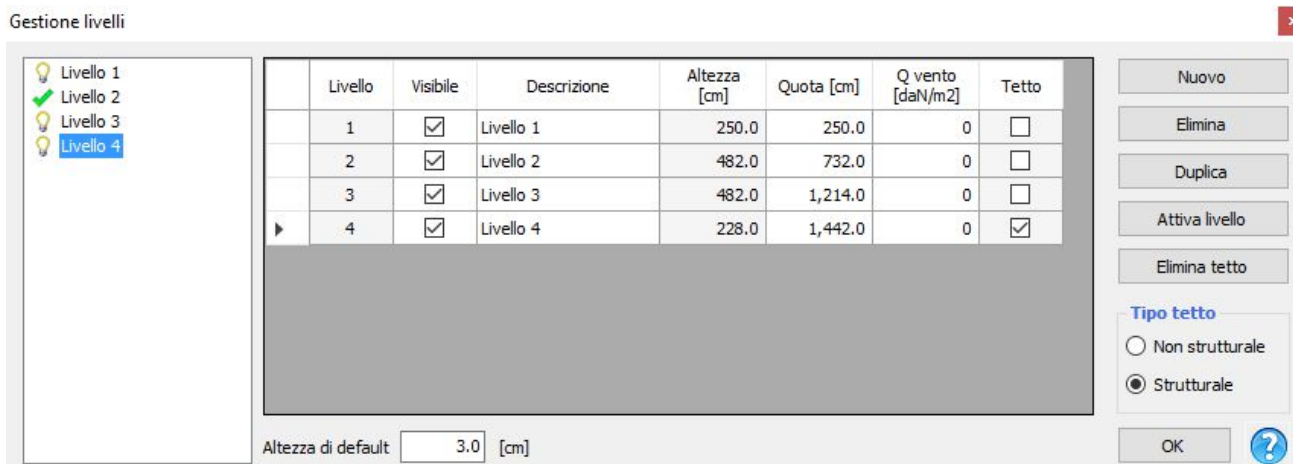


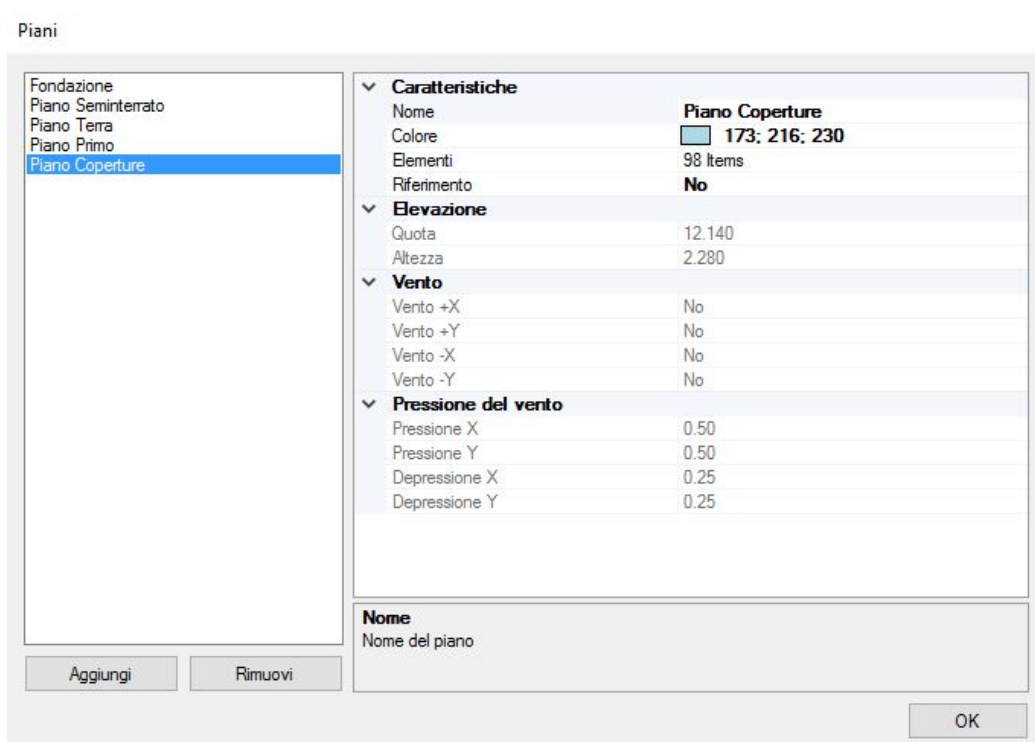
Figura 6-36. Criterio di resistenza secondo Turnšek e Cačovic tratto dal manuale d'uso di 3muri

### c. Modellazione delle coperture

I due programmi lavorano in modo piuttosto diverso per quanto riguarda questo tema, innanzitutto 3muri propone di scegliere se la copertura sia o meno strutturale in fase di definizione dei livelli, qualora sia strutturale verrà inserita all'interno della mesh di calcolo in alternativa verrà considerata solamente come un carico; tale possibilità non viene contemplata in Aedes in cui tutto ciò che viene modellato entra automaticamente a far parte della mesh, rimane tuttavia la possibilità di inserire carichi aggiuntivi che simulino la condizione di copertura non strutturale.

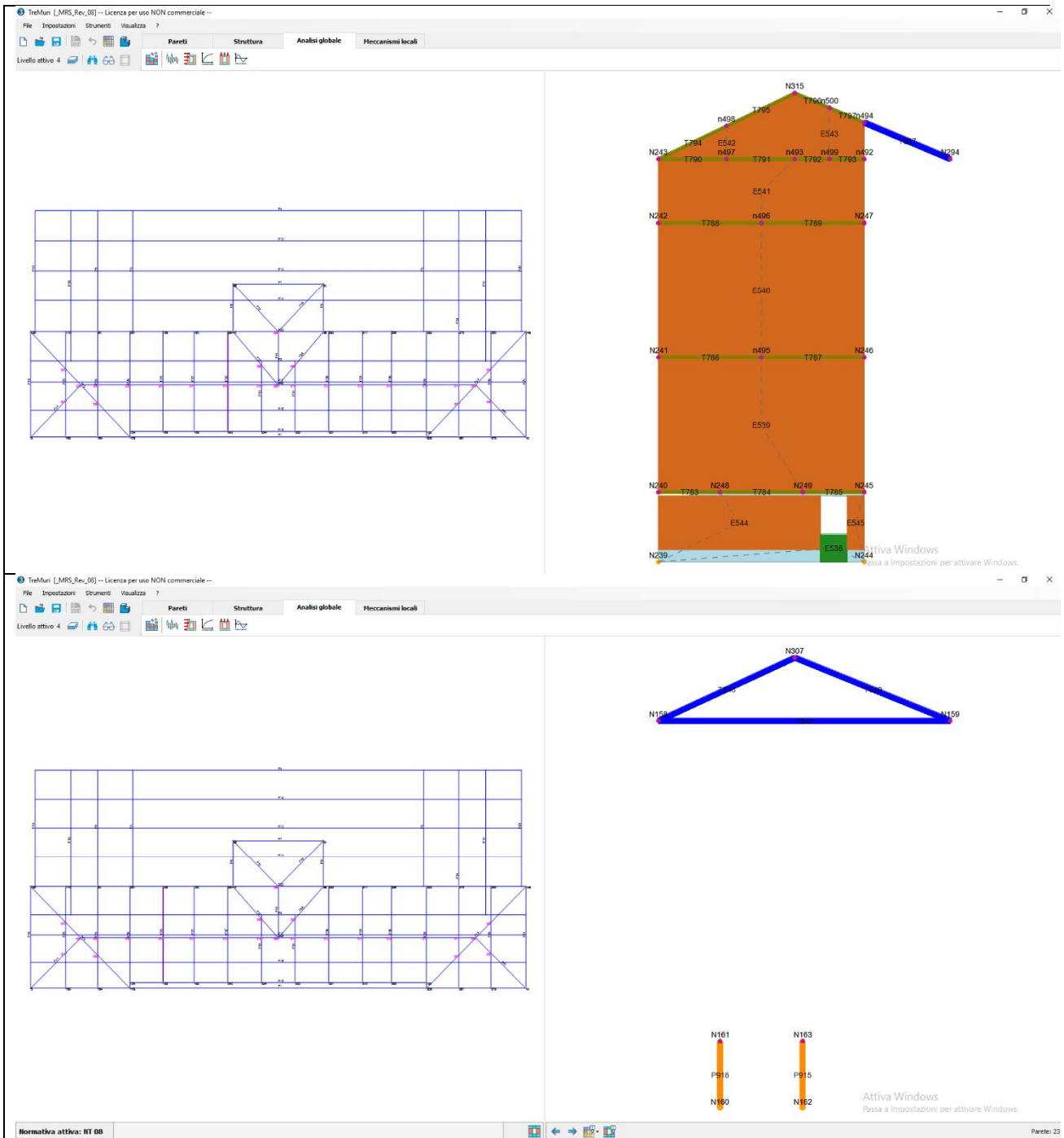


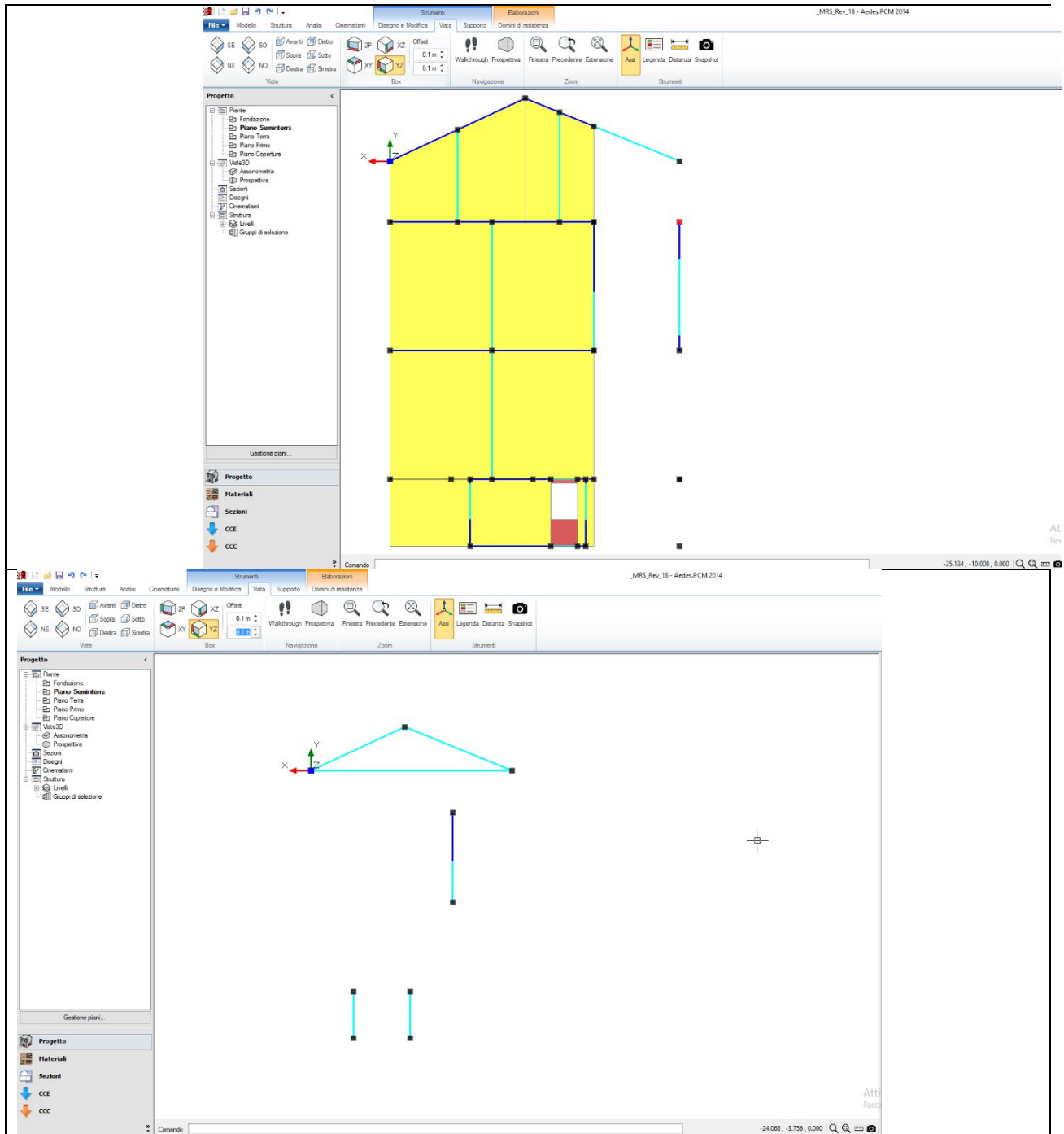
Risulta diversa anche la definizione dei livelli, se in Aedes per il piano sottotetto- copertura è stato definito un unico livello e sono state variate le quote per generare maschi murari inclinati; inoltre le catene delle capriate presenti sono state inserite manualmente a seguito della realizzazione del modello strutturale.



In 3muri è stato definito un livello (4) con quota pari alla quota superiore minima del paramento murario poi l'attivazione della funzione copertura ha permesso la realizzazione del timpano sovrastante ciò ha determinato che il pannello sia unico fino alla quota massima del livello 4 e si suddivida in due parti nella parte sommitale a causa della presenza del colmo; grazie a tale operazione è stato possibile inserire le catene delle capriate adiacenti, si riporta il confronto della modellazione nei due softwares.

Si riportano esempi tratti dalla modellazione realizzata per il Padiglione Morselli.







## 7 CONCLUSIONI

---

“Il restauro architettonico è una complessa operazione critica che... trae il suo dato fondante dalla concezione della cultura, cioè della storia dell'arte, e, nel caso specifico, dell'architettura. Le motivazioni e i diversi interventi, sono pertanto in continua discussione, sì che non è possibile racchiudere in una definizione risolutiva ed univoca il principio primo del restauro, giacché esso postula una scelta preliminare sulla legittimità di conservare la materia dell'opera, in quanto veicolo della forma, cioè in quanto immagine, oppure in quanto documento

Liliana Grassi<sup>44</sup>

---

<sup>44</sup> L. Grassi, voce *Restauro*, in Dizionario Enciclopedico UNEDI, Vol XII, Roma, 1980

## CONCLUSIONI

La presente tesi ha lo scopo di evidenziare mediante la modellazione numerica tramite software che operano a scala di macromodellazione con schematizzazione a telaio equivalente la complessità insita nell'approccio alla valutazione della sicurezza sismica di edifici storici in muratura e misti.

La necessaria premessa normativa mostra l'evoluzione della riscoperta e della presa di coscienza avvenuta attorno agli edifici in muratura esistenti, da strutture ritenute inadeguate a priori a degni oggetti di indagine e riuso con caratteristiche ben distinte sia, ovviamente, dagli edifici in conglomerato cementizio armato e acciaio sia da quelli in muratura moderni.

Nell'evoluzione normativa vi è anche il cambiamento avvenuto riguardo all'invasività dell'intervento di restauro: in particolare, si evidenzia come si sia giunti alla consapevolezza di una propria dignità delle strutture murarie cui gli interventi, quanto più puntuali e minimamente invasivi possibile, devono garantire durabilità senza stravolgerne le peculiarità anche strutturali.

Ancora oggi, anche alla luce della revisione delle Norme Tecniche Costruttive, si avverte forte la necessità di rimarcare l'esigenza di non attenersi, in termini di valutazione della vulnerabilità delle strutture storiche, al mero dato quantitativo derivante dall'analisi globale, come già evidenziato dagli interventi del Prof. Carlo Blasi<sup>45</sup>, Membro del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

L'esistente, dimensionato spesso su base empirica, perché precedente alla diffusione della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, riferendosi meramente a regole geometriche confluite nella cosiddetta "regola dell'arte", non può e non deve rispondere necessariamente ai requisiti richiesti per le strutture di nuova edificazione di pari caratteristiche, ma non per questo risulta indegno di tutela e considerazione.

La nuova revisione pare un passo indietro rispetto all'apertura culturale definita dalle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale<sup>46</sup>; quest'ultima normativa, infatti, riconosce la specificità degli edifici esistenti e fornisce linee generali per l'operare concedendo autonomia di giudizio ed intervento in funzione dell'oggetto di analisi.

A partire da questa consapevolezza appare necessario evidenziare che il criterio proposto dalla norma, che riconosce come unico parametro per esprimere un giudizio sulla sicurezza il valore di accelerazione che la struttura è in grado di sostenere a SLV (il tempo di ritorno dell'azione sismica e la vita nominale della struttura possono essere considerati parametri derivati dal primo) non può essere considerato né univoco né esaustivo.

In fase di analisi risulta opportuno valutare dapprima la capacità della struttura di non dare luogo a fenomeni di disgregazione, e in fasi successive gerarchicamente organizzate analizzare i potenziali fenomeni locali globali.

---

<sup>45</sup>[http://www.lavoripubblici.it/news/2014/12/edilizia/Norme-Tecniche-per-le-Costruzioni-il-capitolo-8-sugli-Edifici-esistenti\\_14306.html](http://www.lavoripubblici.it/news/2014/12/edilizia/Norme-Tecniche-per-le-Costruzioni-il-capitolo-8-sugli-Edifici-esistenti_14306.html)

<sup>46</sup> Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008- DPCM 09/02/2011

Non ha senso infatti proporre una valutazione dell'intera struttura quando essa evidenzia gravi carenze puntuali, per il fatto stesso che in caso di sisma il comportamento globale non arriva ad attivarsi; questa suddivisione delle valutazioni fornisce essa stessa una molteplicità di valori.

Se per quanto riguarda la valutazione dei meccanismi locali la comunità scientifica ha trovato un accordo sui metodi di riferimento che sono costituiti dal ricorso all'analisi limite ed alla valutazione del comportamento dei macroelementi come corpi rigidi (Giuffrè, 1993<sup>47</sup>; Como e Grimaldi, 1985<sup>48</sup>; Abruzzese et al., 1992<sup>49</sup>), per cui le incertezze residue risultano legate in prima istanza alla corretta lettura dei segni evidenziati dalla struttura, rivelatori dei meccanismi potenziali, per quanto riguarda la valutazione dei meccanismi globali non vi è la medesima uniformità.

Il valore di capacità ottenuto, come evidenziato anche nella presente tesi, risente fortemente delle ipotesi di vincolamento dei diversi elementi strutturali, delle scelte delle analisi adottate e del software utilizzato; oltre agli aspetti di pura modellazione enunciati, vi è un'ulteriore considerazione dipendente dalle variabili insite nella valutazione dell'esistente, che fanno riferimento all'estrema varietà di materiali impiegati e tecniche costruttive, funzione delle diverse epoche storiche e del sito di costruzione, che rendono estremamente difficile il poter estendere le valutazioni determinate da saggi e prove al di fuori del singolo caso di studio.

Non resta che trattare ogni edificio esistente come un unicum come già indicato da Roberto Pane<sup>50</sup> “[...] perché tale è in quanto opera d'arte e tale dovrà essere anche il suo restauro” e definire criteri operativi che guidino l'azione conoscitiva propedeutica alle fasi successive.

La ricerca storico documentale volta a determinare le fasi di accrescimento dell'edificato, deve essere avvalorata mediante il rilievo in situ; la fase di rilievo si sostanzia in un primo step, definibile come geometrico, volto alla definizione delle dimensioni degli elementi in gioco, cui segue una fase dell'individuazione del possibile riferimento alla regola dell'arte: tale riconoscimento si può considerare come dichiarato nelle Linee Guida<sup>51</sup> come un primo giudizio sulla sicurezza del manufatto.

Seppur necessariamente basato su metodi empirici, esso testimonia la consapevolezza del progettista della sussistenza di regole che assicuravano la stabilità della struttura.

---

<sup>47</sup> A. Giuffrè, (a cura di), *Sicurezza e Conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia, Bari, Laterza*, 1993

<sup>48</sup> M. Como, A. Grimaldi, *An unilateral model for the limit analysis of masonry walls*, Proc. International Congress on “Unilateral Problems in Structural Analysis”, Ravello, Springer Ed., 1985

<sup>49</sup> D. Abruzzese, M. Como, G. Lanni, *On the lateral strength of multistory masonry walls with openings and horizontal reinforcing connections*, Proc. 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Balkema Ed., 1992, pp. 4525-4530

<sup>50</sup> R. Pane, *Il restauro dei monumenti*, in *Aretusa*, a. I n.1, marzo- aprile 1944, pp.74-77

<sup>51</sup> Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 09/02/2011, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008*

Il rilievo, volto a disvelare ciò che testimonia l'edificio come primo documento di se stesso<sup>52</sup>, in funzione del fine che ci si pone (Docci, Maestri, 1984<sup>53</sup>, 1994<sup>54</sup>), verrà declinato nei suoi aspetti connessi all'identificazione di materiali e degradi, quadro fessurativo e potenziali meccanismi in atto. I "segni<sup>55</sup>" dei passati interventi, soprattutto se volti a sanare lesioni dovute a sisma, costituiscono un'importante impronta che permette di considerare l'edificio come sottoposto ad una prova in vera grandezza dai terremoti del passato e mostrano come la struttura ha reagito al sisma, quali sono gli elementi maggiormente vulnerabili e quali risorse (capacità) è in grado di metter in campo (Blasi, Coisson, 2006<sup>56</sup>).

D'altra parte è proprio il terremoto a "selezionare" gli elementi più fragili come già evidenziato da Giuffrè<sup>57</sup>, che descrivendo i meccanismi locali propri dell'edificato storico in muratura afferma "...solo la parte più debole della costruzione cede al sisma, senza trascinare con sé le porzioni adiacenti".

Nella definizione delle vulnerabilità della struttura si dovrà, quindi, fare ricorso a tutti e tre le possibili macro aree identificate come nel seguito: disgregazione, meccanismi locali e meccanismi globali. Un utile riferimento per l'identificazione dei potenziali meccanismi è costituito dagli abachi dei meccanismi ricorrenti, che, distinti in funzione delle tipologie costruttive e nati a fini catalogativi della registrazione dei danni, hanno assunto ora anche una funzione di "prevenzione" permettendo, una volta riscontrate determinate vulnerabilità, di evidenziare il potenziale meccanismo sotteso. Solo una volta definiti e valutati i meccanismi locali diviene possibile riferirsi alle valutazioni globali: la valutazione di entrambi gli aspetti permette di guidare gli interventi in funzione delle priorità evidenziate.

In termini professionali un buon riferimento per le valutazioni globali è costituito dalla scala di macromodellazione che fa riferimento alla schematizzazione a telaio equivalente.

Tale strumento coglie in maniera sufficientemente adeguata, se correttamente applicato, l'evoluzione del quadro fessurativo dei pannelli murari a fronte di un onere computazionale ridotto. Al fine di valutare e comprendere quali siano i parametri che influenzano le analisi ed i risultati che da essi discendono, nel corso della presente tesi, è stato scelto di fare ricorso a due software tra i più

---

<sup>52</sup> G. Carbonara, *Presentazione* in D. Fiorani, *Tecniche costruttive murarie medievali- Il Lazio meridionale*, "L'erma" di Bretschneider, 1996, Roma

<sup>53</sup> M. Docci, D. Maestri, *Il rilevamento architettonico. Storia metodi e disegno*, Roma- Bari, Laterza, 1984

<sup>54</sup> M. Docci, D. Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma- Bari, Laterza, 1994

<sup>55</sup> Si veda l'invito di Carbonara G. nel contributo *Le tendenze attuali del restauro in architettura* in: Il Supplemento della Enciclopedia Universale dell'Arte, Novara 2000. Critica, estetica, metodologia e conservazione- Tavv. 156-157, "Si dovrà quindi interrogare con viva coscienza storica l'opera, nella sua natura figurativa e materiale, nei problemi di degrado e conservazione che manifesta, perché essa stessa risponda suggerendo la strada da seguire nella specifica contingenza"

<sup>56</sup> C. Blasi, E. Coisson, *La fabbrica del Duomo di Parma. Stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Parma, Grafiche Step, 2006

<sup>57</sup> A. Giuffrè, (a cura di), *Sicurezza e Conservazione dei centri storici. Il caso di Orfigia*, Bari, Laterza, 1993

diffusi per le strutture in muratura e miste: 3muri elaborato dal team del Prof. Lagomarsino e PCM-Progettazione di costruzioni in muratura della Aedes Software.

I programmi lavorano entrambi, come già enunciato, mediante schematizzazione a telaio equivalente; assumono tuttavia diverse ipotesi sul vincolamento degli elementi strutturali (maschi murari e fasce di piano) ed sull'estensione delle zone rigide.

Identificare il tipo di vincolamento reale tuttavia non appare immediato e se le prove su tavola vibrante (Magenes et al, 2013<sup>58</sup>; Magenes et Dalla Fontana, 1998<sup>59</sup>, Magenes et Calvi, 1996<sup>60</sup>, Magenes et al, 1996<sup>61</sup>, Magenes et al., 1995<sup>62</sup> ) costituiscono un indicatore rimane tuttavia aperto il tema della possibilità di estrapolare i risultati ottenuti su modelli solitamente regolari piano-altimetricamente realizzati con materiali noti ed applicarli su strutture storiche.

Ancora una volta diviene necessario fare ricorso a quanto emerso nella fase di rilievo ed indagine in sito.

Nella corrente tesi sono stati analizzati un edificio prototipo e tre edifici esistenti:

- 1) Padiglione Morselli, Reggio Emilia;
- 2) Liceo Scientifico Marconi, sede di Via Gioia, Parma;
- 3) Corpo 04 dell'Ospedale di Castelfranco Emilia

La complessità insita nello studio delle strutture esistenti è dovuta sia alla loro particolare conformazione piano- altimetrica, spesso risultato di successive stratificazioni, che alla difficoltà di riconoscere efficacemente lo schema resistente e gli elementi che ne fanno parte in termini di caratteristiche dei materiali, anche in relazione allo stato di degrado, mutuo grado di vincolo, interazione struttura- componenti non strutturali.

Il propedeutico percorso della conoscenza svolge un ruolo chiave nella risoluzione di tale aspetto. Le strutture sono state indagate mediante analisi modale e analisi pushover condotte nelle due direzioni, nei due versi per ogni direzione e considerando la distribuzione proporzionale alle forze statiche e quella uniforme di forze derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione come indicato al Punto C8.7.1.4 della Circolare esplicativa.

---

<sup>58</sup> G. Magenes, A. Penna, I. Senaldi, M. Rota, A. Galasco A., Effetti di irrigidimento dei solai sulla risposta sismica di edifici in muratura di pietra, Proc. XV Convegno ANIDIS, Padova, 2013

<sup>59</sup> G. Magenes, A. Della Fontana, *Simplified non-linear seismic analysis of masonry buildings*, Proc. of the British Masonry Society, Vol. 8 October 1998 pp190-195

<sup>60</sup> G. Magenes, G. M. Calvi, *Prospettive per la calibrazione di metodi semplificati per l'analisi sismica di pareti murarie*, Atti del Convegno Nazionale "La meccanica delle murature tra teoria e progetto", Messina, 18-20 settembre 1996, Piatgora editore, Bologna, 1996

<sup>61</sup> G. Magenes, D. Bolognini, C. Braggio (a cura di), *Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma 2000

<sup>62</sup> G. Magenes, G. R. Kingsley, G. M. Calvi, *Static testing of a full scale, two story masonry buildings: test procedure and measured experimental response*, in Experimental and numerical investigation on a brick masonry building prototype, Report 3.0- G.N.D.T., Numerical Prediction of the experiment: 1.1- 1.41, 1995

I parametri scelti per il confronto sono i seguenti:

- 1) Taglio alla base del sistema reale;
- 2)  $d_u$ : spostamento ultimo del sistema reale
- 3)  $F_{bu}^*$ : resistenza massima del sistema equivalente;
- 4)  $k$ : rigidezza del tratto elastico della bilineare;
- 5)  $d_y^*$ : spostamento al limite elastico della bilineare
- 6)  $d_u^*$ : spostamento ultimo della bilineare
- 7)  $F_y^*$ : la forza di plasticizzazione della bilineare;
- 8)  $T^*$ : periodo elastico del sistema bilineare;
- 9)  $m^*$ : massa partecipante
- 10)  $q^*$ : rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente
- 11)  $\Gamma$ : fattore di partecipazione modale
- 12)  $a_g$ : accelerazione di picco al suolo per cui sono state confrontate domanda e capacità generando il fattore di sicurezza
- 13)  $T_R$ : tempo di ritorno per cui sono state confrontate domanda e capacità
- 14)  $V_R$ : vita residua della struttura

I parametri scelti hanno permesso di valutare ove esista maggiore differenza tra la modellazione proposta dal software Aedes e quella fornita da 3muri, analizzando i fattori che determinano la curva di pushover del sistema lineare la bilineare equivalente necessaria mediante il metodo N2 (Fajfar, et Gaspersic, (1996)<sup>63</sup>, Fajfar, P. (1999)<sup>64</sup>, Freeman, S.A. (1998)<sup>65</sup> alla valutazione della capacità della struttura. In particolare si sono evidenziate differenze tra i due programmi in termini di spostamento ultimo e conseguentemente in termini di forza al limite elastico della bilineare equivalente e di rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente stesso.

Lo studio è stato in prima istanza applicato alla struttura prototipo, simmetrica nelle due direzioni in pianta e ad un solo piano, condizioni che determinano le medesime condizioni nei due versi di analisi e per le diverse distribuzioni considerate, per cui ci si limita ad analizzare le direzioni +X e +Y con distribuzione proporzionale alle forze statiche e conducono in entrambi i software a fattori di partecipazione modale pari all'unità.

I modelli hanno medesimi conformazione geometrica e carichi (con l'eccezione del carico dei solai poiché i programmi leggono le aree in modo diverso), medesimi materiali (analogo schema sforzi-

---

<sup>63</sup> P. Fajfar, P. Gaspersic, *The N2 method for the seismic damage analysis of rc buildings*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 25, John Wiley & Son Ltd, 1996, pp. 31-46

<sup>64</sup> P. Fajfar, *Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 28, John Wiley & Son, Ltd, 1998, pp. 979-993

<sup>65</sup> S. A. Freeman, *The capacity spectrum method as a tool for seismic design*, Proc. of the 11th European Conference on Earthquake Engineering, Parigi, Francia, 1998

deformazioni per la muratura che ha andamento parabola- rettangolo), stesso tipo di verifiche (pressoflessione e taglio per fessurazione diagonale) e uguale estensione dei tratti rigidi dei maschi murari.

Nelle due analisi svolte l'unica variazione risiedeva nel considerare in Aedes il medesimo vincolamento proposto da 3muri o nel ritenere i nodi 2d liberi di muoversi nello spazio: le due condizioni a causa della semplicità e regolarità della struttura non hanno fornito variazioni consistenti come atteso.

Nonostante l'estrema attenzione dedicata al modellare l'oggetto in modo che acquisisse medesime caratteristiche, i risultati hanno evidenziato una buona analogia tra i valori ottenuti in taglio alla base, rigidità del tratto elastico della bilineare relativa al sistema ad un grado di libertà associato al sistema reale, periodo proprio della struttura e massa partecipante in direzione x (inferiori al 10%), mentre in direzione y, si è evidenziata una variabilità maggiore pari al 30%.

Si è, pertanto, ipotizzato che ciò dipendesse dalla presenza di murature piene nella direzione analizzata per le quali il vincolo alle murature ortogonali viene schematizzato in modo diverso nei due software.

Svolte due ulteriori analisi ipotizzando che tra i muri ortogonali vi fosse svincolamento in direzione verticale (ipotesi 3 con nodi 2d vincolati nel piano e ipotesi 4 con nodi liberi) si è evidenziato un maggiore accordo tra i due programmi in direzione y con differenze intorno al 10%.

Le maggiori differenze registrate invece interessano il parametro dello spostamento ultimo che la struttura è in grado di garantire: in entrambi i software le analisi si sono spinte fino al raggiungimento della perdita di equilibrio con una riduzione del taglio non superiore al 20% rispetto al taglio massimo. Nonostante le medesime condizioni si sono ottenute variazioni pari al 250% in x ad al 30% in y.

Tale delta è dovuto ai diversi parametri impostati di default nei programmi: Aedes porta avanti l'analisi fino al raggiungimento del drift ultimo calcolato come il minimo tra 0.404 volte l'altezza del piano per taglio e 0.06 volte per pressoflessione mentre in 3muri l'analisi si arresta quando il taglio raggiunge il valore pari all'80% del taglio massimo; queste discrepanze sul valore dello spostamento ultimo si ripercuotono a caduta su tutti i valori determinati dallo stesso nel calcolo della bilineare equivalente ovvero sul taglio a snervamento, sulla determinazione del fattore  $q^*$  e soprattutto sul valore dell'energia dissipata dal sistema ovvero l'area sottesa alla bilineare (con variazioni in X pari al 280%).

Il confronto dei valori  $a_g$  di capacità non appare significativo poiché data la semplicità della struttura essa viene ampiamente verificata.

Le divergenze riscontrate già in fase di analisi di prototipo si amplificano applicando le analisi agli edifici reali.

Per quanto riguarda i casi studio sono state indagate quattro ipotesi di vincolamento della struttura in Aedes PCM da raffrontare con i valori derivati da 3muri.

Quest'ultimo programma propone un vincolamento dei nodi 2d, ovvero non generati dall'intersezione di due pareti ortogonali nel piano e zone flessibili dei maschi interni della parete con altezza pari a quella delle aperture limitrofe e per i maschi di estremità zone rigide con altezza pari alla metà della fascia di piano contigua. In Aedes sono state quindi valutate due condizioni: la prima con altezza flessibile pari all'altezza dell'apertura per tutti i maschi, la seconda con altezza deformabile determinata dalla diffusione a 30° dell'altezza dell'apertura, come indicata dal Prof. Dolce<sup>66</sup>. È stata, inoltre, indagata l'influenza della presenza o meno del vincolamento dei nodi nel piano; i risultati sono stati commentati criticamente in considerazione di quanto evidenziato durante il percorso della conoscenza.

Per quanto riguarda il Padiglione Morselli, la struttura rivela una pianta a C in cui le ali sono formate solamente dal piano interrato e dal piano terra, a differenza del corpo centrale che presenta ulteriori due piani.

La particolare disposizione delle murature indica una vulnerabilità maggiore in direzione y correttamente rilevata dalle analisi.

Rispetto al modello di 3muri si rileva che le prime due ipotesi analizzate da Aedes PCM, ovvero nodi di parete vincolati nel piano, forniscono dati con differenze minori rispetto a quelle in cui i nodi sono liberi di muoversi nello spazio, con valori del taglio di piano che presentano variazioni inferiori al 13% nella totalità delle direzioni e distribuzioni analizzate.

Per quanto riguarda gli altri parametri è invece necessario evidenziare le disomogeneità ottenute: in particolar modo risulta evidente la differenza per quanto riguarda le analisi in x del fattore di partecipazione modale tra i due programmi, che sale intorno al 40%, ripercuotendosi sui valori che da esso dipendono. Tale differenza è da ricondurre alle diverse forme riscontrate dall'analisi modale: in 3muri in direzione x prevale la componente traslazionale, a differenza di quanto si ottiene con Aedes, in cui il modo rotazionale risulta prevalente, determinando un abbassamento del fattore di partecipazione modale.

Tali fattori inducono variazioni dell'area sottesa alla bilineare che è pari all'energia dissipata dalla struttura, fino ad un valore massimo di circa il 300%; in direzione y tale disomogeneità risulta minore, ottenendo variazioni di energia fino al 85%.

Poiché la seconda ipotesi di Aedes propone una rigidezza molto vicina a quella di 3muri (scarto massimo del 25%), si è ritenuto, anche in funzione della dipendenza del valore di accelerazione di picco al suolo dalla rigidezza stessa, di identificare tale ipotesi come quella più aderente alla modellazione proposta dall'altro software.

Si è quindi proceduto ad indagare il comportamento della struttura in occasione dell'ultimo sciami sismico per validare le ipotesi computazionali: si evidenzia che l'ipotesi 2 di Aedes è quella che minimizza anche la differenza in ordine dell'accelerazione di capacità pari ad un delta dell'11%.

---

<sup>66</sup> M. Dolce, *Schematizzazione e modellazione per azioni nel piano delle pareti*, Corso sul consolidamento degli edifici in muratura in zona sismica, Ordine degli Ingegneri, Potenza, 1989

È stato, inoltre, evidenziato un buon accordo nell'indicare quale distribuzione è la più penalizzante, ovvero quella in y, legata alla distribuzione proporzionale alle forze statiche a causa della particolare conformazione della struttura che presenta in quella direzione muri che si interrompono in corrispondenza del corridoio.

Le lesioni rilevate in occasione del sisma del 2012 evidenziano un buon accordo con le previsioni computazionali, sottolineando la necessità di evitare la spinta a vuoto che si forma in corrispondenza delle ali poiché estremamente dannosa.

Nella realtà la possibilità di ricorrere ad un vincolamento nel piano dei nodi di parete deve essere indagata analizzando il tipo di muratura impiegata: solo una muratura in cui vi siano diaconi ed ortostati che garantiscono un buon ammorsamento dei diversi paramenti, giunti di malta sottili e realizzati con una qualità non scadente, assemblata in definitiva con cura costruttiva e nella quale si può riconoscere il riferimento alla regola dell'arte. Qualora esista la necessità di modellare gradi di vincolo scarsamente efficaci è possibile inserire nei modelli vincoli elastici o vere e proprie disconnessioni.

I valori derivati dall'analisi statica non lineare sono stati comparati con quelli derivati dal programma Aedes con riferimento al metodo proposto per la valutazione a scala territoriale della vulnerabilità sismica: le variazioni rilevate sono nell'ordine del 44%, mostrando un andamento inverso rispetto alle pushover dell'indice di sicurezza sismico, in relazione alla rigidità della struttura.

Per quanto concerne il Corpo 04 dell'Ospedale di Castelfranco si nota una forte disomogeneità dei risultati ottenuti in relazione alle diverse modellazioni che hanno interessato il piano sottotetto.

A causa dell'inefficacia dei vincoli presenti, legati al tipo di modellazione proposta da 3muri, che non permette l'assemblaggio della rigidità flessionale per paramenti contigui l'ultimo piano è stato modellato come un puro carico nel programma, a differenza di quanto avvenuto in Aedes. Da qui si determina il fatto che quest'ultimo software sovrastimi la capacità resistente, potendo contare su un maggior numero di maschi resistenti; gli indici di sicurezza sismica presentano una variabilità massima del 38% a fronte di una variazione del taglio massimo del 40%.

Si evidenzia che in prima analisi il fattore che maggiormente influisce nel calcolo dell'accelerazione di capacità è proprio il taglio alla base.

Per la modellazione del Liceo Marconi è invece possibile affermare che a causa delle vulnerabilità manifeste della struttura, le analisi non colgono adeguatamente la reale condizione della struttura stessa.

Tale affermazione viene dimostrata dall'estrema variabilità dei dati di output che portano a valori differenti del 77% già per il solo taglio alla base.

Quello che è possibile affermare dalle analisi proposte è che i modelli computazionali colgono con sufficiente approssimazione il comportamento della struttura quando essa sia quanto più possibile simmetrica e regolare. Già in una realtà come quella indagata in cui l'unica disomogeneità evidente è legata all'irregolarità altimetrica, si rivelano variabilità dei singoli parametri decisamente notevoli (fino al 300% in termini di energia), che tuttavia non si ripercuotono sul valore ultimo

dell'indice di sicurezza che ha variazioni nell'ordine del 30%, per il diverso peso che i parametri analizzati hanno all'interno della stima di tale valore; questo in ragione del fatto che il metodo N2 utilizzato dalla norma risente fortemente della rigidità della bilineare, a sua volta funzione del taglio massimo del sistema reale, e del periodo proprio della struttura, che dipende dalla rigidità stessa e dalla massa  $m^*$  che sono i valori con minore variabilità osservata e ben colti dall'analisi pushover basata su modello a telaio equivalente.

Le valutazioni fornite dai dati computazionali sono state doverosamente verificate sul campo a valle del percorso conoscitivo effettuato.

Il mero dato quantitativo permane lettera morta se non adeguatamente supportato dall'evidenza sperimentale generata dai sismi già vissuti dalla struttura.

Il bene indagato rivela esso stesso le sue criticità ad un attento lettore dei "segni". Qualora si identifichi una cura nella progettazione volta alla regolarità nella distribuzione di masse e rigidità e nella realizzazione effettuata con materiali di buona qualità messi in opera seguendo le cosiddette "regole dell'arte", spesso per assicurare un incremento della vita alla costruzione non si rilevano necessari interventi invasivi che ne alterino in maniera sostanziale il comportamento meccanico, ma piuttosto puntuali risoluzioni di vulnerabilità locali. La figura del restauratore ha seguito a partire dagli anni '70 un'evoluzione simile a quella dell'oncologo: l'edificio in muratura non è più inadeguato a priori e pertanto deve essere sottoposto al massimo intervento sopportabile ma ad un intervento mirato alla salvaguardia del suo tessuto materico, solo salvaguardando il quale è possibile preservare anche l'aspetto architettonico e figurativo, due istanze inscindibili ascritte alla medesima realtà ontologica<sup>67</sup>.

Il restaurare deve considerarsi pur sempre una triste necessità<sup>68</sup> e legare il giudizio di sicurezza al mero dato quantitativo non permette di avere una visione adeguata della realtà sulla quale si interviene. Tale valutazione deve, quindi, necessariamente avvalersi anche di aspetti qualitativi ed empirici desunti dall'osservazione del comportamento della struttura in occasione di eventi passati che colleghino il dato numerico alla realtà esperienziale.

Deve essere chiaro qual è il fine ultimo della valutazione dell'indice di sicurezza sismico di un edificio esistente, ovvero la conservazione di un bene per il futuro: se si avverte la necessità di preservare un oggetto se ne riconosce il valore ed è questa presa di coscienza, questa *Weltanschauung*<sup>69</sup> che

---

<sup>67</sup> Si veda a tale fine l'affermazione di Dezzi Bardeschi riportata: "(il restauro) "operi all' unico fine di assicurare la conservazione dell'autenticità dell' opera, che è costituita da tutti gli apporti matrici che le si sono stratificati addosso e che appunto rappresentano... quell' insostituibile e irripetibile hic et nunc che caratterizza e distingue in modo specifico quella e non altra fabbrica: perduto e compromesso il quale è perduto e compromesso tutto il testo, il valore di testimonianza e la stessa credibilità dell' oggetto" tratto da M. Dezzi Bardeschi, *Presentazione in La Conservazione del costruito: i materiali e le tecniche*, Dezzi Bardeschi M., Sorlini C. (a cura di), Ed. Clup, Milano, 1981

<sup>68</sup> C. Boito, *I restauri in Architettura*, Milano, 1893 in Crippa M.A. (a cura di) Camillo Boito. *Il nuovo e l'antico in architettura*, ed Jaka Book, Milano, 1988

<sup>69</sup> Il termine *Weltanschauung*, appartenente alla lingua tedesca, ha trascorso l'iniziale campo di utilizzo legato alla filosofia per essere applicato in altri campi quali la critica letteraria e della storia dell'arte.

rende l'intervento di conservazione non più una "miope e chiusa visione tecnicistica"<sup>70</sup>, ma una vera e propria operazione culturale.

Il restauro è atto critico. Va inteso come "momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte, nella sua consistenza fisica e nella sua duplice polarità estetica e storica, in vista della sua trasmissione al futuro"<sup>71</sup>. Senza questa consapevolezza non vi può essere intervento consapevole, si perde il senso ultimo dell'operare, divenendo puri calcolatori, negando in ultima istanza i propositi di chi ha realizzato le opere sulle quali oggi speculiamo, ovvero testimoniare una grandezza, un'eccellenza che non può divenire un mero dato statistico.

Dal punto di vista pratico, allo scopo come già detto eseguire quanto più possibile interventi puntuali ove ve ne sia l'effettiva necessità, nella consapevolezza dell'estrema varietà osservata nell'esistente che rende l'aspirare a fornire criteri operativi che prendano in considerazione una casistica così ampia piuttosto complesso è stato tuttavia possibile delineare aspetti comuni.

Le indicazioni sono fornite partendo dalla scala generale fino a giungere agli aspetti di dettaglio, considerando dapprima le variabili esterne e poi quelle interne alla struttura prendendo in considerazione i tre aspetti chiave che concorrono alla definizione del rischio sismico: pericolosità, esposizione e vulnerabilità ( $R=P \times E \times V$ ):

- 1) Pericolosità: dipende dal sito di costruzione, occorre pertanto valutare gli aspetti che determinano la domanda quantificata in termini di accelerazione e spostamenti ovvero
  - a. Accelerazione di picco al suolo
  - b. Categoria di sottosuolo
  - c. Condizioni topografiche
  - d. Condizioni di microzonizzazione sismica
- 2) Esposizione: dipende dalle relazioni dell'edificio in esame con il contesto urbano
  - a. Edificio isolato
  - b. Edificio "singolo"
  - c. Edificio ottenuto dall'apposizione di più strutture

---

Pur non essendo possibile una traduzione letterale in lingua italiana viene comunemente associato alla locuzione "visione o concezione del mondo".

In campo filosofico assume il duplice significato di sentire personale ed intimo del singolo, in Jung, che condiziona il comportamento dell'individuo che quello di archetipo preordinato cui il regime nazista cerca di uniformare l'intero popolo germanico.

In storia dell'arte il termine viene utilizzato per definire una certa concezione della visione del mondo e il suo utilizzo si differenzia dal termine "influenza" dandone un significato privo di condizionamento verso terzi, come indicato da Piero Adorno ne *L'arte italiana*, vol. I, tomo II, G. D'anna, Messina-Firenze, 1985.

<sup>70</sup>R. Di Stefano, *Analisi strutturale: Tecniche e Tecnologie, relazione generale*, in Atti del I Congresso Nazionale Consolidamento e Restauro Architettonico, Verona 30 settembre- 3 ottobre 1981, ASSIRCOO, II vol. Roma 1981, pp.76-77

<sup>71</sup>C. Brandi, *Teoria del restauro. Lezioni raccolte da L. Vlad Borrelli, J. Raspi Serra e G. Urbani*, Roma 1963 - Edizioni di Storia e Letteratura; Collana Piccola Biblioteca, Torino, Einaudi, 1977

- d. Presenza di giunti
  - e. Semplice costruzione in continuità
  - f. Edificio non isolato
  - g. Edificio intercluso
  - h. Edificio di testa
- 3) Vulnerabilità: è un fattore intrinseco della struttura ed è connesso alla concezione strutturale dell'edificio, ai materiali ed alle tecniche costruttive utilizzati, al loro stato di conservazione, ai "segni" del tempo dovuti a degradi ed eventi quali terremoti ed alle funzioni ospitate, nel seguito l'esposizione puntuale degli aspetti che la influenzano
- a. Numero di persone coinvolte in caso di calamità perché utilizzatori dello spazio in esame
    - i. Luogo pubblico
    - ii. Luogo privato aperto al pubblico
    - iii. Luogo privato
  - b. Destinazione d'uso presente nella struttura
    - i. Residenza
    - ii. Luogo di lavoro
    - iii. Luogo a destinazione assistenziale o ospedaliera
    - iv. Biblioteca
    - v. Magazzino
    - vi. ...
  - c. Caratteristiche proprie della struttura
    - i. Individuazione delle fasi realizzative della costruzione
    - ii. Individuazione dei materiali utilizzati
    - iii. Struttura in muratura
    - iv. Struttura mista
    - v. Individuazione dello stato di conservazione dei materiali
    - vi. Presenza di lesioni e degradi
  - d. Valutazione dello stato di attivazione dei fenomeni di degrado o lesione
    - i. Meccanismo attivo
      - 1. In evoluzione peggiorativa
      - 2. Stabile
      - 3. In evoluzione migliorativa
    - ii. Meccanismo non più attivo
  - e. Individuazione degli elementi strutturali
    - i. Tipo di elementi verticali
    - ii. Setti murari
    - iii. Pilastri

- iv. Presenza di strutture spingenti
  - v. Archi singoli
  - vi. Catena di archi
  - vii. Tipo di elementi orizzontali
  - viii. Solai spingenti
  - ix. Solai non spingenti
  - x. Solai rigidi nel piano
  - xi. Solai flessibili nel piano
- f. Individuazione degli elementi non strutturali interagenti con le strutture o potenzialmente in grado di influire sul livello di sicurezza della struttura
- i. Reti impiantistiche
  - ii. Presenza di finiture o elementi di pregio
  - iii. Individuazione dei rapporti tra i diversi elementi strutturali
  - iv. Grado di vincolo tra i diversi elementi verticali
  - v. Grado di vincolo tra elementi verticali e elementi orizzontali
- g. Individuazione dei dettagli costruttivi
- 4) Valutazione della capacità della struttura in riferimento ai meccanismi evidenziati in occasione dei precedenti sismi.

La necessità di valutare i fattori esterni legati al sito di costruzione va a influenzare quella che diviene la domanda di capacità della struttura. Sono aspetti non sono modificabili in fase di valutazione dell'esistente in quanto attinenti alla fase di pianificazione urbanistica a scala territoriale. Nel passato spesso si è dimostrata scarsa conoscenza e valutazione di questi fattori, determinando una forte esposizione del costruito ad eventi potenzialmente disastrosi quali i terremoti; attualmente a seguito del sisma del 2012 la Regione Emilia- Romagna ha realizzato una valutazione della microzonizzazione sismica con analisi delle condizioni limite dell'emergenza che hanno portato anche a definire quali sono le aree in cui non è possibile prevedere nuovi insediamenti poiché eccessivamente esposte.

Per quanto attiene alla presente tesi, poiché ci si occupa dell'edificato, ci si limiterà all'individuazione degli elementi necessari alla valutazione dell'accelerazione di picco al suolo per il sito considerato, in funzione dello stato limite di riferimento; non potendo intervenire sugli aspetti già determinati in fase di realizzazione riguardanti pericolosità ed esposizione l'unico parametro sul quale è possibile intervenire rimane la vulnerabilità della struttura.

Per quanto riguarda il rapporto con il contesto urbano è necessario valutare il grado di interazione della struttura in esame con gli edifici limitrofi e la sua posizione rispetto ad essi.

Nell'edificato storico spesso ci si trova di fronte non ad edifici singoli ma ad aggregati: sotto questa classificazione rientrano sia diverse strutture semplicemente giustapposte (si vedano per esempio le cortine edilizie dei centri storici italiani) che i complessi realizzati conglobando edifici originariamente separati e che ora formano un complesso strutturale (si pensi per esempio ai monasteri).

In tal caso risulta piuttosto difficoltoso dal punto di vista del controllo e della comprensione dei risultati evidenziati in fase di analisi, spesso svolta tramite calcolatore, determinare quali fattori influenzano la risposta ed in che modo, a tal fine viene qui proposta l'idea della sottostrutturazione già presente nelle NTC e qui ripresa e sviluppata con riferimento ad un caso concreto.

Innanzitutto all'interno dell'aggregato è necessario individuare quella che la norma definisce un'unità strutturale, ovvero una porzione di edificio che sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico sia frutto di un comune processo costruttivo e che sia caratterizzata dall'unitarietà del comportamento strutturale nei confronti dei carichi sia statici che dinamici.

L'individuazione della porzione da analizzare, eseguita caso per caso in funzione della conformazione dell'aggregato e dell'obiettivo dell'analisi, deve considerare il soddisfacimento delle seguenti caratteristiche:

- 1) Continuità da terra a cielo del flusso dei carichi verticali;
- 2) Delimitazione dell'unità in corrispondenza di spazi aperti, di giunti strutturali o di costruzioni contigue che presentano tipologie costruttive e strutturali differenti per epoche, materiali impiegati e modalità realizzative.

Individuata l'unità è necessario identificare le interazioni sotto forma di vincoli e carichi che la legano alla rimanente porzione di struttura. In particolare è necessario valutare carichi e forze sia dovuti ai carichi statici che sismici dovuti alle porzioni adiacenti e gravanti su quella in esame. Qualora non sia possibile valutare chiaramente quali siano i vincoli che le strutture limitrofe offrono a quella in analisi è possibile definire due condizioni limite: la prima simula un grado di incastro che corrisponde alla capacità delle porzioni adiacenti di garantire un vincolamento completo, la seconda equivale alla mancanza di impedimento degli spostamenti, determinando una struttura assimilabile agli edifici isolati; tali due condizioni determinano due estremi all'interno dei quali cade sicuramente il valore ricercato.

Di fatto non potendo determinare con sufficiente approssimazione il grado di vincolo, si determinano le condizioni limite all'interno del quale tale valore può variare; ampliando di fatto i valori di riferimento si bypassa l'incertezza legata alla mancata conoscenza.

Tale procedura diffusissima in altri ambiti ingegneristici, non è così comune nell'ambito della valutazione della vulnerabilità delle strutture, procedura che spesso ha come unico obiettivo la definizione di un parametro univoco di capacità da confrontare con la richiesta determinata dalla normativa.

Nella presente tesi, invece, vi si è fatto ricorso ogni qual volta non era possibile definire con certezza il valore univoco del grado di vincolamento dei nodi e dell'estensione delle zone rigide ne' effettuare una valutazione statistica.

Nei casi studio le incertezze evidenziate sono legate principalmente come già ricordato a due macroaree, la prima facente capo alla definizione delle zone rigide la seconda al vincolamento dei nodi nel piano di appartenenza ovvero pur nella dissociazione delle analisi relative a meccanismi

locali e globali se le pareti sono in grado di fornire un efficace vincolo ai maschi che le costituiscono nel piano garantendo una rigidezza maggiore della struttura o meno.

Ulteriori valutazioni che confluiscono nella valutazione dell'accelerazione di picco al suolo sono quelle inerenti la destinazione d'uso assegnata alla costruzione in particolare si fa riferimento al coefficiente d'uso che amplifica la vita di riferimento della struttura.

Definita così la richiesta cui deve rispondere la costruzione si passa alla definizione delle caratteristiche che influenzano la risposta della stessa.

Una volta definiti gli elementi strutturali, essi devono essere "tradotti" nella modellazione nel modo più accurato possibile ovvero riproducendone caratteristiche geometriche, meccaniche e posizionamento, nonché i loro rapporti mutui.

Ciò che il percorso di analisi condotto evidenzia è che tanto più la realtà si discosta da modelli regolari sia dal punto di vista dimensionale che dal punto di vista del percorso dei carichi verticali, tanto più i software non sono in grado di cogliere tale configurazione e tanto più i risultati diventano di difficile interpretazione e di difficile controllo. Da questa osservazione è nato l'interrogarsi sulle criticità legate al percorso di valutazione della vulnerabilità proposto dalla normativa attuale.

Nel campo normativo si è assistito ad uno sviluppo che ha portato alla formazione di una dicotomia: se per quanto concerne la definizione della sollecitazione sismica ha prevalso il ricorso ad aspetti convenzionali quali sono l'uso di spettri, è apparso altrettanto evidente che le lesioni identificate sul campo a seguito dei terremoti non concordano con gli effetti attesi a valle del percorso di valutazione imposto dalla norma.

Uno degli aspetti responsabili di tale disaccordo risiede nel metodo scelto per la formulazione degli spettri: essi vengono determinati mediante l'"assemblaggio" di sismi con caratteristiche molto diverse tra loro considerandone prevalentemente il contenuto in termini di accelerazione a discapito di quelli in frequenza ed energia. Ciò comporta un allineamento verso l'alto dei valori ottenuti, definendo targets che, in particolare per i fenomeni più frequenti e con minore magnitudo, risultano molto "onerosi" da raggiungere. Un tema ulteriore risulta riferito alla possibile sottostima della valutazione della duttilità delle strutture in muratura, come già ricordato, qualora esse non siano affette da disgregazione del paramento murario o vulnerabilità locali che provocano meccanismi puntuali, possono essere "indirizzate", se correttamente progettate con riferimento alla regolarità geometrica e a caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati adeguate, verso la formazione di un comportamento scatolare nei confronti del terremoto.

La capacità di mettere in campo un comportamento di insieme costituisce per l'edificio una risorsa notevole. Si pensi, ad esempio ai casi di rottura per taglio che in edifici compatti e con sezioni murarie con rapporto  $l/h$  maggiore di 0.4 sono i più diffusi; in questi casi si ottiene una fessurazione diagonale oppure uno scorrimento lungo i letti di malta, in funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'aspetto comune ad entrambi è che a fronte di un danneggiamento controllato è possibile fare ricorso alla dissipazione di energia connaturata al fenomeno dell'attrito; l'ulteriore

aliquota di duttilità offerta comporterebbe una diminuzione dello spettro. Una quantificazione accurata di tale parametro permetterebbe richieste meno severe.

Un aspetto aggiuntivo che rivela la non congruità dell'analisi imposta dalla normativa rispetto al reale comportamento delle strutture è collegato alla mancanza di indicazioni riguardo alla valutazione combinata delle componenti orizzontali e verticali del sisma: questo secondo contributo risulta particolarmente rilevante per quegli elementi che basano la loro capacità resistente sul fondamentale contributo stabilizzante dei carichi verticali quali, ad esempio, le volte.

È quindi possibile affermare che per consentire la conservazione agli edifici in muratura non si può prescindere da aspetti fondamentali quali la risoluzione delle lacune progettuali eventualmente presenti e dei meccanismi locali evidenziati già in occasione dei terremoti precedenti. Una volta sanate le lacune macroscopiche è possibile indirizzare il comportamento della struttura verso un benefico comportamento scatolare dissipativo. Gli interventi quanto più possibile puntuali e poco invasivi, rispettosi della duplice istanza materica e figurativa del bene indagato<sup>72</sup>, dovranno essere volti a ripristinare o a far acquisire, qualora non sia mai stata presente, alla struttura una regolarità plano-altimetrica e caratteristiche meccaniche adeguate. La possibilità di conseguire un danneggiamento controllato permette il ricorso ad un'ulteriore aliquota dissipativa che si riflette in una maggiore partecipazione ai primi modi a prevalente contenuto traslazionale a discapito di quelli superiori torsionali e l'abbattimento dello spettro con definizione di richieste meno severe.

Si auspica, pertanto, che la ricerca e di conseguenza la normativa possa evolvere in tale senso.

L'operazione tecnica indagata sottesa al giudizio di vulnerabilità, come evidenziato anche nella presente tesi, risente di un forte convenzionalismo: la realtà ontologica è infinitamente più complessa *"Fatti che non possono essere unitariamente colti da elaborazioni numeriche e computers come invece può riuscire a fare la mente umana con gli ausili, peculiari soltanto ad essa, dell'intuizione, dell'inventiva, della fantasia, della creatività"*<sup>73</sup>.

L'uomo ritorna, quindi al centro, vivifica con il suo operare la materia: proprio per questo motivo il suo operare deve avere solide radici, cultura e consapevolezza devono muovere il suo agire.

*"Lo studio del comportamento statico delle strutture è sempre indagine storica dell'architettura che ha prodotto tale struttura; è l'appassionata ricerca dell'invenzione e dell'idea che, (...) ha consentito di dominare la materia"*<sup>74</sup>.

---

<sup>72</sup> *"[Il restauro] operi all' unico fine di assicurare la conservazione dell' autenticità dell' opera, che è costituita da tutti gli apporti matrici che le si sono stratificati addosso e che appunto rappresentano... quell' insostituibile e irripetibile hic et nunc che caratterizza e distingue in modo specifico quella e non altra fabbrica: perduto e compromesso il quale è perduto e compromesso tutto il testo, il valore di testimonianza e la stesa credibilità dell' oggetto"* da M. Dezzi Bardeschi, *Presentazione in La Conservazione del costruito: i materiali e le tecniche*, Dezzi Bardeschi M., Sorlini C. (a cura di), Ed. Clup, Milano, 1981

<sup>73</sup> P. Pozzati, *Il convenzionalismo nel calcolo strutturale sismico*, relazione tenuta il 5 marzo 2004 presso la facoltà di ingegneria di Bologna, all'apertura del corso di Ingegneria Antisismica tenuta dal Prof. Diotallevi pubblicato dalla rivista INARCOS

<sup>74</sup> R. Di Stefano, *Analisi strutturale: Tecniche e Tecnologie*, relazione generale, in *Atti del I Congresso Nazionale Consolidamento e Restauro Architettonico*, Verona 30 settembre- 3 ottobre 1981, ASSIRCOO, Il vol. Roma 1981, pp.76-77

## 8 BIBLIOGRAFIA RAGIONATA

---

### 8.1 MANUALISTICA

AA. VV., Direttore Scientifico Borri A., Donà C. (a cura di), *Manuale delle murature storiche*, Roma, DE-Tipografia del Genio Civile, 2011

AEDES Software per Ingegneria Civile, *Manuale d'uso*, 2014

AEDES Software per Ingegneria Civile *Esempi applicativi*, 2014

AEDES Software per Ingegneria Civile, *Guida Rapida per gli Interventi di Consolidamento*, 2013

AEDES Software per Ingegneria Civile, *Teoria*, 2013

AEDES Software per Ingegneria Civile, *Documento di validazione*, 2013

Alberti L. B.; *De Re Aedificatoria*, 1452, a cura di Orlandi G., Milano, Il Profilo, 1966

Aveta A., Casiello S, La Regina F. e Picone R., (a cura di), *Restauro e consolidamento*. Atti del Convegno "Restauro e consolidamento dei beni architettonici e ambientali. Problematiche attuali" - Napoli, 31 marzo - 1 aprile 2003, Roma, Mancosu editore, 2003

Baggio C., Carocci C., 2000, *Valutazione della qualità meccanica delle murature*, in: A. Bernardini (a cura di), *La vulnerabilità sismica degli edifici*. Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari, Roma, pp. 51-66, 2000

Ballardini R. (a cura di), *Restauro, tecnologia e architettura: l'epistemologia storica delle tecniche tra tecnologia e progetto di architettura/restauro*. Giornate di studio, Il Cardo, Venezia, 1995

Ballardini R. (a cura di), *Protezione (la) del patrimonio culturale: La questione sismica. Le linee di sviluppo della ricerca universitaria; Obiettivi e aree di integrazione per i nuovi programmi scientifici; Proposte normative*. Il Seminario Nazionale di Studio, Roma 9-10 aprile 1997; Gangemi Editore, Roma, 1997

Barozzi da Vignola J., *Regola delli cinque ordini d'architettura*, Roma, Rossi, 1562

Belevolo L., *Storia dell'architettura moderna*, Bari, Laterza, 1966

Benvenuto E., *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze, Sansoni, 1981

Blasi C., *Una ragionevole rivalutazione dell'Empirismo in L'Architetto Italiano n.17*, 2006-2007, Mancosu Editore

Blasi C., Coisson E., *La fabbrica del Duomo di Parma. Stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Parma, Grafiche Step, 2006

Blasi C., Coisson E., *The French Panthéon: structural analyses from XVIII Century to Modern Times*, V International Seminar on Structural Analysis of Historical Construction, New Dehli, vol. 7, pp 359-368, 2006

Boscarino S., Cangelosi A., Prescia R., (a cura di), *Sul restauro architettonico. Saggi e note*, Franco Angeli, Milano, 1999

Brandi C. et alii, voce *Restauro*, in *Enciclopedia Universale dell'Arte*, vol. XI, col. 322 e ss., ms coll. 344-351, Venezia-Roma 1963

Brandi C., *Teoria del restauro. Lezioni raccolte da L. Vlad Borrelli, J. Raspi Serra e G. Urbani*, Roma 1963 - Edizioni di Storia e Letteratura; *Collana Piccola Biblioteca*, Torino, Einaudi, 1977

Bruno A., *Castello (il) di Rivoli: 1734-1984, storia di un recupero*, Allemandi, Torino, 1984

Cangi G., *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, Roma, DEI, 2005

Carbonara G., *Trattato di restauro architettonico*, Torino, UTET Tecniche, 1996

Carbonara G., *Avvicinamento al restauro: teoria, storia, monumenti*, Napoli, Liguori, 1997

Carocci C., Tocci C., (a cura di), 2010, *Antonino Giuffrè. Leggendo il libro delle antiche architetture. Aspetti statici del restauro. Saggi 1985 – 1997*. Roma, Gangemi editore, 2010.

Cirone P., *Restauro strutturale delle murature*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2011

Crippa M.A. (a cura di) *Camillo Boito. Il nuovo e l'antico in architettura*, ed Jaka Book, Milano, 1988

Della Torre S. (a cura di), *La conservazione programmata del patrimonio storico- architettonico. Linee Guida per il piani di manutenzione e consuntivo scientifico*, Milano, Guerini e Associati, 2003

Dezzi Bardeschi M., Sorlini C. (a cura di), *Presentazione in La Conservazione del costruito: i materiali e le tecniche*, Ed. Clup, Milano, 1981

Di Pasquale S., *L'arte del costruire. Il migliore antidoto al danno sismico*, Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsimica degli edifici, Regione Umbria, Dei - Tipografia del Genio Civile, Roma, 1999

Di Pasquale S., *L'arte del costruire. Tra conoscenza e scienza*, Venezia, Marsilio, 1996

Di Pasquale S., *L'arte del costruire. Tra conoscenza e scienza*, Venezia, Marsilio, 1996

Di Stefano R., *Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1990

Docci M.- Maestri D., *Il rilevamento architettonico. Storia metodi e disegno*, Roma- Bari, Laterza, 1984

Docci M.- Maestri D., *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma- Bari, Laterza, 1994

Galloni F. (a cura di), *Atti del primo convegno nazionale: Consolidamento e restauro architettonico: Verona 30 settembre- 3 ottobre 1981/ ASSIRCCO, Associazione italiana ristrutturazione e consolidamento costruzioni*, Roma, Edizioni Kappa, 1981

Giuffrè A., *La meccanica nell'architettura*, Roma, La Nuova Italia Scientifica, 1986

Giuffrè A., *Monumenti e terremoti: aspetti statici del restauro*, Roma, Multigrafica, 1988

Giuffrè A., *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Roma, Ed. Kappa, 1991

Giuffrè A., (a cura di), *Sicurezza e Conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari, Laterza, 1993

Giuffrè A., Carocci C., *Codice di pratica per la sicurezza e conservazione dei Sassi di Matera*, Matera, Edizioni La Bauta Edizioni, 1997

Giuriani E., *Tratta di restauro architettonico- Consolidamento degli edifici storici*, Utet Scienze Tecniche, 2011

Gurrieri F., (a cura di), Blasi C., Borri A., Di Pasquale S., Malesani P., Nigro G., Parducci A., Tampone G., *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post sismica degli edifici*, Roma, DE- Tipografia del Genio Civile, 1999

Heyman J., *The Stone Skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995

Iori I., *Un diario didattico. Principi statici e tecniche costruttive nel loro sviluppo storico*, Benevento, Hevelius, 2000

Iori I., *Minimi strumenti di scienza del costruire*, Parma, MUP editore, Coll. Humanitas et scientia, 2010

Lenza, P., Gherzi, A., Calderoni B., *Edifici in muratura alla luce della nuova normativa sismica*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2011

Magenes G., Bolognini D., Braggio C. (a cura di), *Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma 2000

Marconi P., *Materia e significato: La questione del restauro architettonico*, Laterza, Bari, 1999

Mastrodicasa S., *Dissesti statici delle strutture edilizie: diagnosi, consolidamento, istituzioni teoriche, applicazioni pratiche*, Milano, Hoëpli, 1993

Navier C.L., *Resume des leçons d'architecture données à l'École Royale Polytechnique*, Paris, 1802-1805, trad. it. *Lesioni di Architettura* a cura di E. D'Alfonso, Milano, CLUP, 1986

Palladio A., *I Quattro libri dell'Architettura*, Venezia, 1570, ristampa a cura di M. Biraghi, Pordenone, Studio Tesi, 1992

Podestà S., *Verifica sismica di edifici in muratura*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2012

Rocchi P., *Progettare il consolidamento: impostazione metodologica del progetto di consolidamento di costruzioni in muratura soggette a rischio sismico*, Kappa, Roma, 1989

Rocchi P., *Manuale del consolidamento: contributo alla recente trattatistica*, Roma, DEI, 1991

Rocchi P. (a cura di), *Manuale del consolidamento*, Roma, Mancosu, 2003

Rondelet J.B., *Memoire historique sur le Dome du Panthéon français*, Paris, Chez du Pont Imprimeur-libraire, 1797

Scamozzi V., *L'idea dell'architettura universale*, Venezia, 1615

S.T.A. Data, 3 muri Manuale d'uso Versione 10.0.2.0

Timoshenko S. P., *History of Strength of materials, with a brief account of the history of elasticity and theory of structures*, New York, McGraw Hill, 1953

Torsello B. P. (a cura di), *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto. (A. Bellini, G. Carbonara, S. Casiello, R. Cecchi, M. Dezzi Bardeschi, P. Fancelli, P. Marconi, G. Spagnesi Cimbolli, B.P. Torsello)*, Marsilio, Venezia 2005

Vinci, M., *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2013

Viollet-le-Duc E.E., *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle*, Paris, 1865, trad. it. *La'rchitettura ragionata* a cura di M. A. Crippa, Milano, Jaca Book, 1982

Vitruvio Pollione M., *De architettura*, edizione consultata: P. Gros (a cura), Einaudi, Torino 1997

Zevi B., *Saper vedere l'architettura*, Venezia, Einaudi, 1948

Zevi L. (a cura di), *Il manuale del restauro architettonico*, Roma, Mancosu, 2003

## 8.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Legge 2 febbraio 1974 n°64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"

Decreto Ministeriale 3 marzo 1975, (G.U. n. 93 del 08/04/1975 "Approvazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"

Legge Regionale del Friuli Venezia Giulia 20 giugno 1977 n°30 "Nuove procedure per il recupero statico e funzionale degli edifici colpiti dagli eventi tellurici – Ulteriori norme integrative della legge regionale 7 giugno 1976, n.17"

Decreto ministeriale 7 marzo 1981 Dichiarazione in zone sismiche nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia;  
Decreto Ministeriale 3 Giugno 1981 n° 515 e Decreto Ministeriale 29 Febbraio 1984"

Decreto ministeriale 19 Giugno 1984 (G.U. n.208 del 30/07/1984) "Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche"

Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 24/01/1986 "Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche" (G.U. 12/05/1986 n°108) e relativa Circolare Ministero LL.PP. 27690 del 19 Luglio 1986 al D.M. del 24/01/1986. "Istruzioni relative alla normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica"

Circolare Ministero Beni Culturali ed Artistici 18 luglio 1986 n°1032(Comitato Nazionale Prevenzione Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico, 18 Luglio 1986) "Interventi sul Patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche: raccomandazioni" (di commento al D.M.LL.PP. del 24 gennaio 1986)

Circolare Ministero dei Beni Culturali e Ambientali, n. 1032, 1986, Interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche: raccomandazioni

Decreto Ministeriale n. 141 del 9 Gennaio 1987 (G.U. n. 141 del 19/06/1987) sostituito dal Decreto Ministeriale n. 285 del 20 Novembre 1987 (G.U. n. 285 del 5/12/1987) "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento"

Circolare Ministero dei LL.PP. n. 30787 del 4 Gennaio 1989 "Istruzioni in merito alle Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".

Decreto Ministeriale 16/01/1996 Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (G.U. 05/02/1996 n°29)

Decreto Legge n.112 del 31 Marzo 1998 (G.U. n.92 del 21/04/1998) "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della L. 15 Marzo 1997, n. 59".

Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri 20/03/2003 n°3274- Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (G.U. 08/05/2003 n°105) e Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM n. 3316 del 2 Ottobre 2003 (G.U. n. 236 del 10/10/2003) "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003";

Decreto Legislativo n. 42, 22/01/2004, Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137.

D.M. Ministero delle Infrastrutture 14/01/2008, Nuove norme tecniche per le costruzioni

Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, n. 617 del 02 febbraio 2009, Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 09/02/2011, Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008

Linee Guida per modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili realizzato da Reluis, A.G.I., A.L.G.I., A.L.I.G.

Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008- DPCM 09/02/2011

### 8.3 ARTICOLI SCIENTIFICI

Abruzzese D, Como, Lanni G., On the lateral strenght of multistory masonry walls with openings and horizontal reinforcing connections, Proc. 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Balkema Ed., 1992, pp. 4525-4530

Allen D.E., Rainer J. H., *Guidelines for the seismic evaluation of existing buildings*, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1995, 22(3): 500-505, 10.1139/195-058

Antoniou S., Pinho R., *Advantages and limitations of adaptative and non adapattive force-based pushover procedures*, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 8, 2004

Antoniou S., Pinho R., *Development and verification of a displacemenet- based adaptive pushover procedure*, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 8, 2004

Belletti B., Coïsson E., Ferrari C., Pedroni S., *The role of survey for a correct FE analysis: the case of the Monte Oliveto Maggiore church*, IV International Seminar on Structural Analysis of Historical Construction. Padova, pp. 1295/1303, 10-12 Novembre 2004

Binda L., Tiraboschi C., Mirabella Roberti G., Baronio G., Cardani G., *Measuring masonry material properties: detailed results from an extensive esperimental research*, in *Experimental and numerical investigation on a brick masonry building prototype*, Report 5.0- G.N.D.T., 1995

Bruneau M, *Seismic evaluation of unreinforced masonry buildings- A state of the art report*, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 21, 1994, pp. 512-539

Carobbi M., *Il ferro nelle architetture francesi in pietra del XVIII secolo. Metodi empirici e numerici per la comprensione e conservazione*, Università degli Studi di Parma, PhD Thesis, 2012

Coïsson E., Ferretti D., Lenticchia E., *Italian castel and earthquakes: a GIS for knowlwdge and preservation*, in corso di pubblicazione

Coïsson E., *La Fabbrica del Duomo di Parma: quadro storico ed analisi critica dei suoi dissesti*, Università degli Studi di Parma, PhD Thesis, 2005

Coïsson E., *Il Duomo e i terremoti*, Presenza tecnica, Edizioni PEI, n. 208, maggio 2005

Chopra A.K., Goel R.K., *Modal pushover seismic analysis of SAC buildings excluding gravity loads*, Proc. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, 1995

C. Damoni, *Valutazione della vulnerabilità sismica di edifici storici tramite l'analisi cinematica*, Università degli Studi di Parma, Ph.D. Thesis, 2013

Di Pasquale, *Architettura e terremoti in Architettura e terremoti. Il caso di Parma: 9 novembre 1983*, Ed. Pratiche, Parma, 1986

Dolce M., *Schematizzazione e modellazione per azioni nel piano delle pareti*, Corso sul consolidamento degli edifici in muratura in zona sismica, Ordine degli Ingegneri, Potenza, 1989

Donà C., *Il recupero delle murature storiche*, Ponte. Mensile di Progettazione, Gestione e Tecnica per Costruire, n°4, anno 2011, pp. 36-44

Baila A., Donà C., *La regola dell'arte muraria nei trattati storici*, Ponte. Mensile di Progettazione, Gestione e Tecnica per Costruire, n°4, anno 2011, pp. 45-59

Braga F., Dolce M., *Un metodo per l'analisi di edifici multipiano in muratura antisismici*, Proc. 6th I.B.Ma.C., Roma, 1982

Braga F., Dolce M., *Modeling of seismic behaviour of masonry buildings*, Proc. 9th I.B.Ma.C., Berlino, 1991

Brencich A., Lagomarsino S., *Un modello a macroelementi per l'analisi ciclica di pareti murarie*, Atti dell'8° Convegno Nazionale ANIDIS, Taormina, 1997

Brencich A., Penna A., *Una procedura a macroelementi per l'analisi sismica di pareti in muratura con orizzontamenti incemento armato*, Atti del 9° Convegno Nazionale ANIDIS, Torino, 1999

Cattari S., Camilletti D., Marino S., Lagomarsino S., *Valutazione della risposta sismica di edifici in muratura irregolari in pianta e con solai flessibili*, Atti del XVI Convegno ANIDIS 2015 "L'Ingegneria sismica in Italia".

Como M., A. Grimaldi, *An unilater model for the limit analisys of masonry walls*, Proc. International Congress on "Unilateral Problems in Strcutural Analisys", Ravello, Springer Ed., 1985

Como M., Grimaldi A., *A new method on the lateral strength evaluation of masonry walls and buildings*, Proc. of the 8th European Conference on Earthquake Engineering, LNEC, Lisbon., 1986

D'Asdia P., Viskovic L., 1994, *L'analisi sismica degli edifici in muratura*, Ingegneria Sismica, XI, 1

Fusier F., Vignoli A., 1993, *Proposta di un metodo di calcolo per edifici in muratura sottoposti ad azioni orizzontali*, Ingegneria Sismica, X, 1.

Di Stefano R., *Analisi strutturale: Tecniche e Tecnologie, relazione generale*, in Atti del I Congresso Nazionale Consolidamento e Restauro Architettonico, Verona 30 settembre- 3 ottobre 1981, ASSIRCOO, Il vol. Roma 1981, pp.76-77

Dolce M., *Schematizzazione e modellazione per azioni nel piano delle pareti*, Corso sul consolidamento degli edifici in muratura in zona sismica, Ordine degli Ingegneri, Potenza, 1989

Fajfar P. e Gaspersic P., *The N2 method for the seismic damage analysis for RC buildings*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 25, 2000, pp. 23-67

Fajfar P., *A non linear analisys method for performance-based seismic design*, Earthquake Spectra, August 2000, Vol. 16, n. 3, pp. 573-592

Fajfar P., Drobnič D., *Nonlinear seismic analysis of the ELSA buildings*, Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, 1998

Fajfar P., *Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra*, Earthquake Engineering and Structural Dynamic, Vol. 28, 1999, pp. 979-993

Fajfar, P., Gaspersic, P., *The N2 method for the seismic damage analysis of rc buildings*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 25, John Wiley & Son, Ltd., 1996, pp. 31-46

Fajfar, P., *Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 28, John Wiley & Son, Ltd., 1999, pp. 979-993

Freeman, S.A. *The capacity spectrum method as a tool for seismic design*, Proc. of the 11th European Conference on Earthquake Engineering (ECEE), Parigi, Francia, 1998

Gambarotta L., Lagomarsino S., *On dynamic response of masonry panels*, in Gambarotta L. (a cura di) *La meccanica delle murature tra teoria e progetto*. Atti del Convegno Nazionale 1996, Pitagora

Galasco A., Lagomarsino S., Penna A., *Analisi sismica non lineare a macroelementi di edifici in muratura*, Atti del 10° Convegno Nazionale ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia", Potenza-Matera, 2002

Galasco A., Lagomarsino S., Penna A., Resemini S., *Non linear seismic analysis of masonry structures*, Proc. 13th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), pap. n. 843, Vancouver 1-6 August, Canada, 2004

Galasco A., Lagomarsino S., Penna A., *On the use of pushover analysis for existing masonry buildings*, Proc. 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, pap. n. 1080, Geneva 3-8 September 2006, Switzerland, 2006

Gambarotta L., Lagomarsino S., *Damage models for the seismic response of brick masonry shear walls. Part I: the mortar joint model and its applications*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26, 1997

Gambarotta L., Lagomarsino S., *Damage models for the seismic response of brick masonry shear walls. Part II: the continuum model and its applications*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26, 1997

Gherzi A., Marino E.M., Neri F., *Proposta e validazione di un procedimento statico non lineare per la progettazione di strutture antisismiche ad elevata duttilità*, Ingegneria sismica, anno XXII, n.2,2005, pp. 30-43

Gherzi A., Marino E.M., Neri F., *A seismic design method for high ductility steel frames. Behaviour of steel structures in seismic areas*, Editors F.M. Mazzolani, A. Wada. A.A. Balkema, Taylor&Francis Group, London, 2006, pp. 33-38

Lagomarsino S., Penna A., Galasco A., Cattari S., *Tremuri program: An equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings*, Engineering Structures 56, 2013, pp. 1787-1799

Lagomarsino S., Cattari S., Verifica sismica di edifici esistenti in muratura: validazione dei metodi di analisi non lineare su un caso studio, 2014, Ingenio n.23, Articolo n. 1885

Lagomarsino S., La prevenzione sismica come strumento di conservazione dei beni culturali, 2015, Ingenio

Lourenco P.B., Computational strategies for masonry structures, PhD Thesis, TU Delft, 1996

Magenes G., Kingsley G.R., Calvi G.M., *Static testing of a full scale, two storey masonry buildings: test procedure and measured experimental response*, in Experimental and numerical investigation on a brick masonry building prototype, Report 3.0- G.N.D.T., Numerical Prediction of the experiment: 1.1- 1.41, 1995

Magenes G., Calvi G.M., *Prospettive per la calibrazione di metodi semplificati per l'analisi sismica di pareti murarie*, Atti del Convegno Nazionale "La meccanica delle murature tra teoria e progetto", Messina, 18-20 settembre 1996, Piatgora editore, Bologna, 1996

Magenes G., Calvi G.M., *In-plane seismic response of brick masonry walls*, Earthquake Engineering and Structural Dynamic, vol. 26, 1997, pp. 1091-1112

Magenes G., Della Fontana, *Simplified non-linear seismic analysis of masonry buildings*, Proc. of the British Masonry Society, 8, 1998, pp. 190-195

Magenes G., *A method for pushover analysis in seismic assessment of masonry buildings*, Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland.

Magenes G., Penna A., Galasco A., *A full-scale shaking table test on a two-storey stone masonry building*, Proc. 14th European Conference on Earthquake Engineering, pap. n. 1432, Ohrid, Macedonia, 2010

Magenes G., Penna A., Senaldi I., Rota M., Galasco A., *Effetti di irrigidimento dei solai sulla risposta sismica di edifici in muratura di pietra*, Proc. XV Convegno ANIDIS, Padova, 2013

Magenes G., Penna A., Senaldi I., Rota M., Galasco A., *Shaking Table Test of a Strengthened Full-Scale Stone Masonry Building with Flexible Diaphragms*, International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration, 2014, pp. 349-375

Marques R., Lourenço P.B., *Unreinforced and confined masonry buildings in seismic regions: Validation of macro-element models and cost analysis*, Engineering Structures 64, 2014, pp. 52-67

Milani G., Lourenço O., *Modelling masonry with limit analysis finite elements: Review applications and new directions*, Civile Engineering Computations: Tools and Techniques, saxe-Boburg Publications, 2007, pp. 217-242

Modena C., *Design approaches of interventions for the safety and conservation of historic buildings*, Structural Analysis of Historical Constructions, London, Taylor and Francis group, pp. 75-83

Pane R., *Il restauro dei monumenti*, in Aretusa, a. I n.1, marzo- aprile 1944, pp.74-77

Penna A., Cattari S., Galasco A., Lagomarsino S., *Seismic Assessment of Masonry Structures by Non-linear Macro-element Analysis*, IV International Seminar on Structural Analysis of Historical Construction-Possibilities of Numerical and Experimental Techniques, Padova, 2004, Vol. 2, pp. 1157-1164

Penna A., Lagomarsino S., Galasco A., *A nonlinear macro-element model for the seismic analysis of masonry buildings*, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 43(2), 2014 pp.159-179

Pozzati P., *Il convenzionalismo nel calcolo strutturale sismico*, relazione tenuta il 5 marzo 2004 presso la facoltà di ingegneria di Bologna, all'apertura del corso di Ingegneria Antisismica tenuta dal Prof. Diotallevi pubblicato dalla rivista INARCOS

Priestley, M. J. N., *Seismic behaviour of unreinforced masonry walls*, Bull. New Zealand Soc. for Earthquake Engrg., 18(2), 1985, pp. 191-205

Senaldi I., Magenes G., Penna A., Galasco A., Rota M., *The Effect of Stiffened Floor and Roof Diaphragms on the Experimental Seismic Response of a Full Scale Unreinforced Stone Masonry Building*, Journal of Earthquake Engineering, 2013, pp. 407-443

Tianyi Yi, *Experimental investigation and numerical simulation of an unreinforced masonry structure with flexible diaphragms*, Georgia Institute of Technology, Ph.D. Thesis, 2004

Tianyi Yi, Franklin L.Moon, Roberto T. Leon, Lawrence F.Kahn, *Lateral load tests on two-story unreinforced masonry buildings*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Maggio 2006, vol.132, n.5, 2006, pp. 643-652

Tomažević, M., Lutman, M., and Petković, L., *Seismic Behavior of Masonry Walls: Experimental Simulation*, J. Struct. Eng., 1996

Tomažević M. *Computation of the shear resistance of masonry buildings*, in The seismic resistance of masonry buildings, Report, 1, ZRMK, Lubiana, 1978

## 8.4 SITOGRAFIA

La regola dell'arte muraria nei trattati storici di di Angela Baila e Chiara Donà, [http://www.edilio.it/la-regola-dell-arte-muraria-nei-trattati-storici/p\\_17769.html](http://www.edilio.it/la-regola-dell-arte-muraria-nei-trattati-storici/p_17769.html)

[http://www.bandb-rome.it/tecniche\\_materiali\\_antica\\_roma.html](http://www.bandb-rome.it/tecniche_materiali_antica_roma.html)

<http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/24/normative/>

<http://www.ingegneriasoft.com/normativa-tecnica-ingegneria-civile.htm>

<https://ingvterremoti.wordpress.com/2015/12/28/i-terremoti-del-900-la-catastrofe-sismica-del-28-dicembre-1908/>

[http://www.lavoripubblici.it/news/2014/12/edilizia/Norme-Tecniche-per-le-Costruzioni-il-capitolo-8-sugli-Edifici-esistenti\\_14306.html](http://www.lavoripubblici.it/news/2014/12/edilizia/Norme-Tecniche-per-le-Costruzioni-il-capitolo-8-sugli-Edifici-esistenti_14306.html)

[http://legxv.camera.it/cartellecomuni/leg14/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/08\\_cap15\\_sch01.htm](http://legxv.camera.it/cartellecomuni/leg14/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/08_cap15_sch01.htm)

[http://www.staticaesismica.it/staticaesismica\\_normativa.html](http://www.staticaesismica.it/staticaesismica_normativa.html)



*Ilaria Fontanesi*

*Modellazione strutturale di edifici storici in muratura e misti: valutazioni comparate e criteri operativi.*

---

*Alla mia famiglia*



## **Ringraziamenti**

Desidero ringraziare la Prof.ssa Eva Coïsson e l'Ing. Luca Melegari per la guida e lo sprone a migliorare professionalmente e umanamente.

Ringrazio i Proff. Carlo Blasi e Roberto Cerioni per aver reso possibile questo percorso.

Desidero ringraziare i miei colleghi universitari e "professionali", in particolare l'Ing. Giulia Piolo.

Un grazie non basta ma intanto iniziamo da qui alle mie Radici per la pazienza, il supporto e l'amore che mi aiutano ogni giorno a tenere gli avvenimenti nella giusta prospettiva.



“Mai arrendersi: bisogna essere curiosi, ambiziosi e  
artefici del proprio destino.”

Mario Calabresi, *La fortuna non esiste. Storie di uomini e donne che hanno avuto il coraggio di rialzarsi* <sup>75</sup>

---

<sup>75</sup> M. Calabresi, *La fortuna non esiste. Storie di uomini e donne che hanno avuto il coraggio di rialzarsi*, Milano, Arnoldo Mondadori Editore, 2009, epigrafe