

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE  
EMILIA-ROMAGNA  
Azienda Ospedaliero - Universitaria di Bologna  
IRCCS Istituto di ricovero e cura a carattere scientifico

POLICLINICO DI  
**SANT'ORSOLA**



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## PROGETTO P/28/2018

### PADIGLIONE n. 3 SEDE AMMINISTRATIVA

Interventi per la ricostruzione post sisma finanziati con il programma opere pubbliche  
(L.R. n° 16/2012 art. 11)

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA



Spazio per autorizzazione Enti

DETERMINA

PROTOCOLLO  
COMUNE P.G.

NUMERO  
PROGRESSIVO

#### COMMITTENTE/PROPRIETA'

DIRETTORE GENERALE Dott.ssa Chiara GIBERTONI  
DIRETTORE SANITARIO Dott.ssa Consuelo BASILI  
DIRETTORE AMMINISTRATIVO Dott. Nevio SAMORE'

#### GESTIONE DEL PATRIMONIO

Resp.le Ing. Daniela PEDRINI

#### DIPARTIMENTO TECNICO

##### GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Daniela PEDRINI  
Arch. Alessandro PISA  
Ing. Francesco Saverio MURGO  
Ing. Elena GIRAU  
Sig.ra Anita GARBIN  
Per. Ind. Federica UGOLINI

#### INCARICHI ESTERNI



Ing. Massimo MAJOWIECKI

AGGIORNAMENTI

OGGETTO:

COMMESSA:

1

2

3

4

5

6

## ALLEGATO 4

### MODELLO NUMERICO

DATA: Settembre 2021

SCALA:

DISEGNATO DA:

FILE:

TAVOLA :

## AL.4

## ALLEGATO 4 – MODELLO NUMERICO

### 1. PREMESSA

Il modello predisposto in sede di progetto di fattibilità tecnico-economica e di seguito esposto è da intendere quale modello approssimato ed è principalmente finalizzato alla quantificazione economica preliminare degli interventi volti a risolvere le carenze nei confronti delle azioni gravitazionali, nei limiti delle finalità dell'art.3, c.1 del “Regolamento” allegato all’ordinanza n.6 del 14 marzo 2017 della S.T.C.D. della Regione Emilia-Romagna (nel seguito “Regolamento”). Il modello è implementato con il software FEM “Straus7” distribuito da HSH s.r.l. (PD)

La predisposizione di un modello con le finalità citate trova motivazione:

- nel fatto che la vulnerabilità nei confronti delle azioni gravitazionali è stata attivata/evidenziata dal sisma del maggio 2012, rendendone quindi la mitigazione compatibile con la ratio del “Regolamento”;
- nell’obbligo normativo (NTC-2018) di risolvere tale tipo di carenza;
- nel fatto che la problematica si possa risolvere con “interventi locali” (ai sensi delle NTC-2018), dunque compatibili con il “Regolamento” (a meno di ulteriori carenze che si dovessero evidenziare a valle di una approfondita valutazione della sicurezza, sia sulle strutture verticali che sugli orizzontamenti);
- nel fatto che le tipologie murarie riscontrate a seguito dei saggi - condotti nel corso del presente lavoro - sono in parte diverse da quelle ipotizzate nell’ambito della “VDS-DICAM-1°Liv.” (rendendosi dunque necessaria conferma dell’estensione della problematica, quantomeno in termini statistici, al fine di stimare le esigenze economiche relative).

Si sottolinea, inoltre che, considerato:

- che le vulnerabilità nei confronti dei meccanismi di primo modo sono trattate e risolte dall’intervento proposto (in linea anche con quanto evidenziato dalla “VDS-DICAM-1°Liv.” - rendendosi quindi pleonastica in questa sede la ri-esecuzione di verifiche numeriche in tal senso);
- che la mitigazione delle carenze in termini di capacità sismo-resistente d’assieme richiede ben più corposi “interventi di miglioramento”, che esulano pertanto dalle finalità e dalle possibilità offerte dal “Regolamento” (dunque dalle finalità del presente progetto);
- che la verifica della capacità sismica globale è stata già condotta dal DICAM nel citato lavoro e necessita di essere approfondita in tutti i suoi aspetti, da quelli conoscitivi, alla caratterizzazione dei materiali, alla modellazione - esulando ciò dalle finalità del presente incarico - come già evidenziato in altre parti di questo lavoro;

il modello predisposto in questa sede non è stato utilizzato per le verifiche sismiche d’assieme, né si può ritenere idoneo a tale scopo (essendo, peraltro, a tal fine indispensabile migliorare le conoscenze della fabbrica, dei materiali, degli elementi costitutivi, delle interazioni tra US, etc. – attività proprie di una valutazione della sicurezza, non contemplata nell’incarico per il progetto di fattibilità in oggetto). Per ogni considerazione sulla capacità sismica globale si rimanda, dunque, alla “VDS-DICAM-1°Liv.” ed ai suoi auspicati approfondimenti.

Quanto alla finalità primaria del modello qui esposto, si rileva che, pur basandosi su una caratterizzazione dei materiali diversa e su un modello geometrico e dei carichi del tutto indipendente, i risultati non sono particolarmente difforni da quelli ottenuti dal DICAM (in termini statistici, si intende, ossia in termini di percentuale di elementi che richiedono rinforzo nei confronti delle azioni gravitazionali – la specifica

localizzazione delle carenze dipende dai dettagli della modellazione e possono variare localmente anche in modo sensibile).

A margine di questa premessa si ribadisce che il modello è da intendersi di massima e finalizzato ad una preliminare stima delle esigenze economiche. Esso non intende in alcun modo identificare in via definitiva l'esatta localizzazione degli interventi di rinforzo nei confronti delle azioni gravitazionali (non a caso individuati negli elaborati grafici solo mediante schemi tridimensionali approssimati). Detta localizzazione richiede necessariamente approfondimenti conoscitivi e di modellazione che dovranno essere condotti in sede di progetto definitivo-esecutivo, a meno che tali successive fasi progettuali non vengano precedute da una valutazione della sicurezza approfondita (quale affinamento del lavoro DICAM) che affronti in dettaglio la problematica analitica (cfr. *"relazione generale"* e *"relazione tecnica"*).

Con le premesse qui esposte, nei paragrafi che seguono si riassumono i principali criteri e parametri di modellazione ed i risultati di rilievo per le finalità del progetto di fattibilità tecnico-economica. Coerentemente con quanto riportato in *"relazione generale"* i dati in *"ingresso"* del modello contengono anche le informazioni relative alla *"regione Chiesa"*, mentre i risultati delle verifiche sono riportati per la sola zona oggetto di intervento.

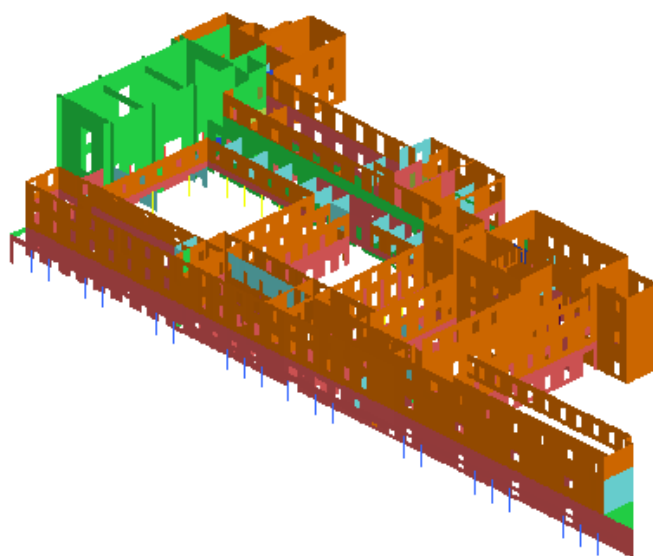
## 2. MODELLO GEOMETRICO

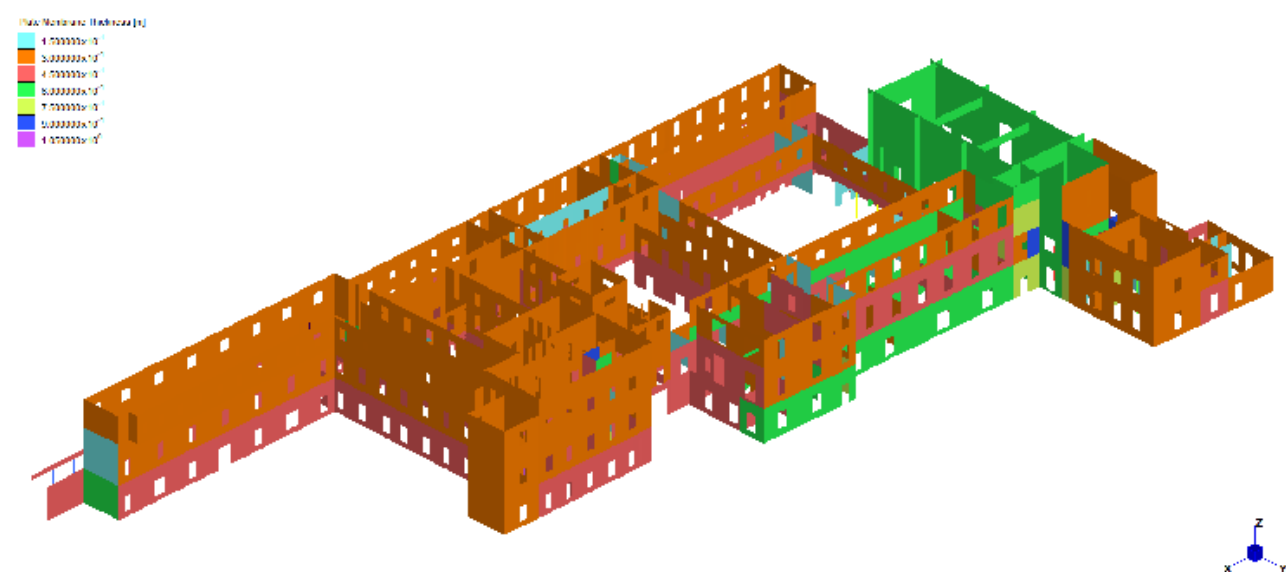
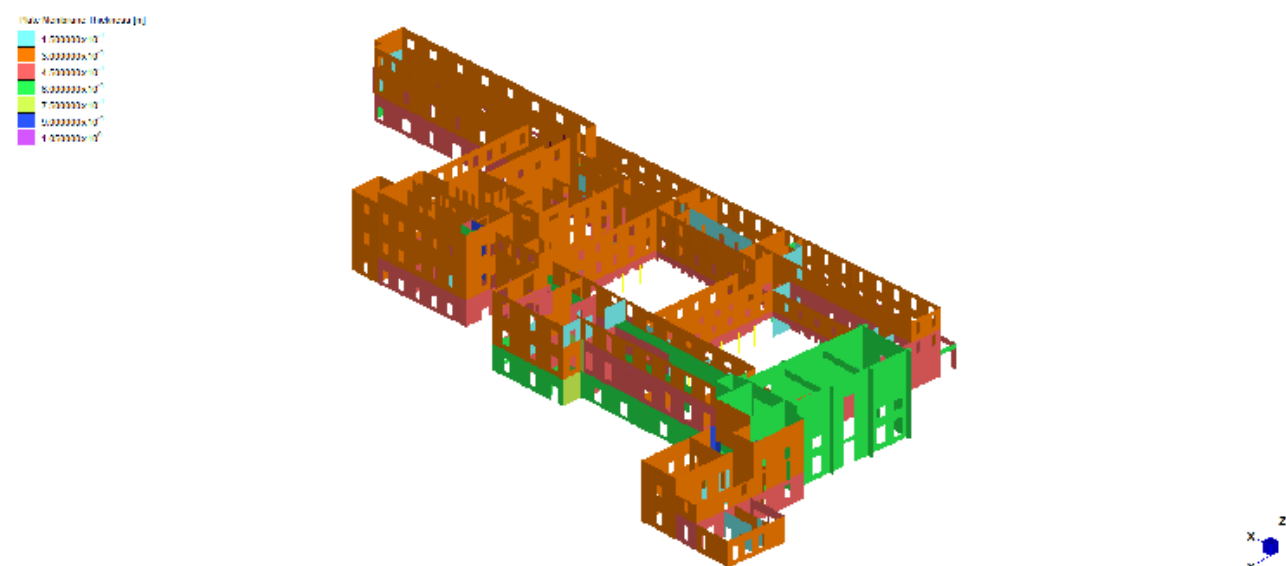
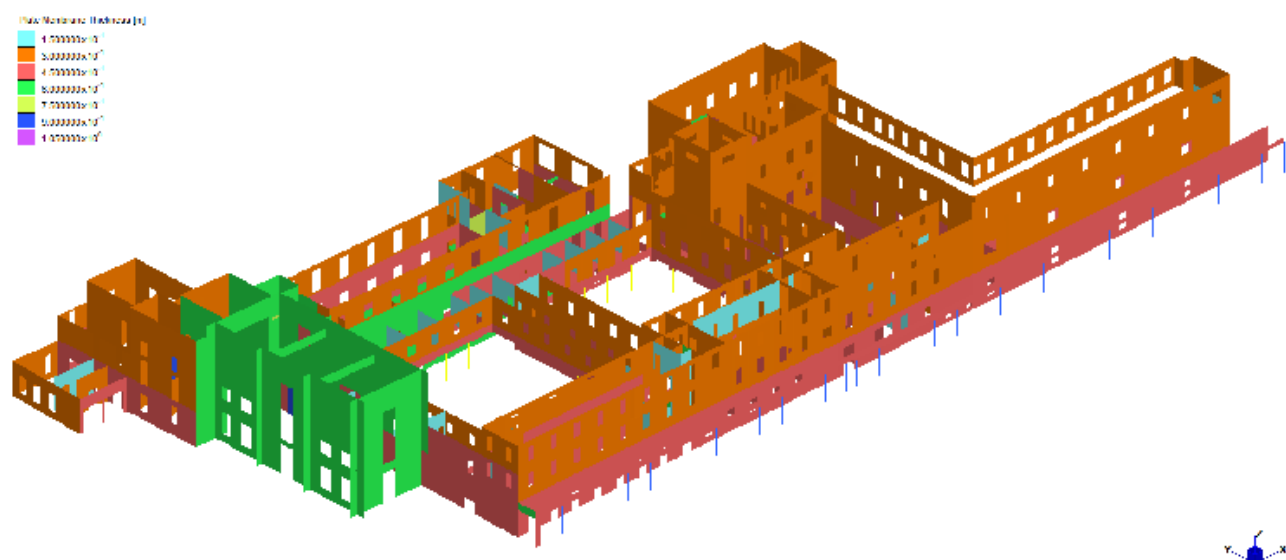
Le immagini che seguono riportano viste assonometriche da diverse angolazioni del modello FEM predisposto. I pannelli murari e le fasce di piano sono modellati con elementi *"plate"*, mentre le colonne ed i maschi di dimensioni ridotte solo modellate con elementi *"beam"*. Gli orizzontamenti sono modellati con elementi *"load patch"*, privi di rigidità e finalizzati alla sola applicazione dei carichi di superficie.

Le viste riportano, per comodità di lettura, gli spessori degli elementi *"plate"*, rimandando comunque agli elaborati grafici per una più puntuale definizione (sebbene di massima) della geometria strutturale.

Max/Momento (N/mm²) [N]

|              |
|--------------|
| 1.500000e+01 |
| 2.000000e+01 |
| 4.000000e+01 |
| 6.000000e+01 |
| 7.000000e+01 |
| 5.000000e+01 |
| 1.000000e+02 |

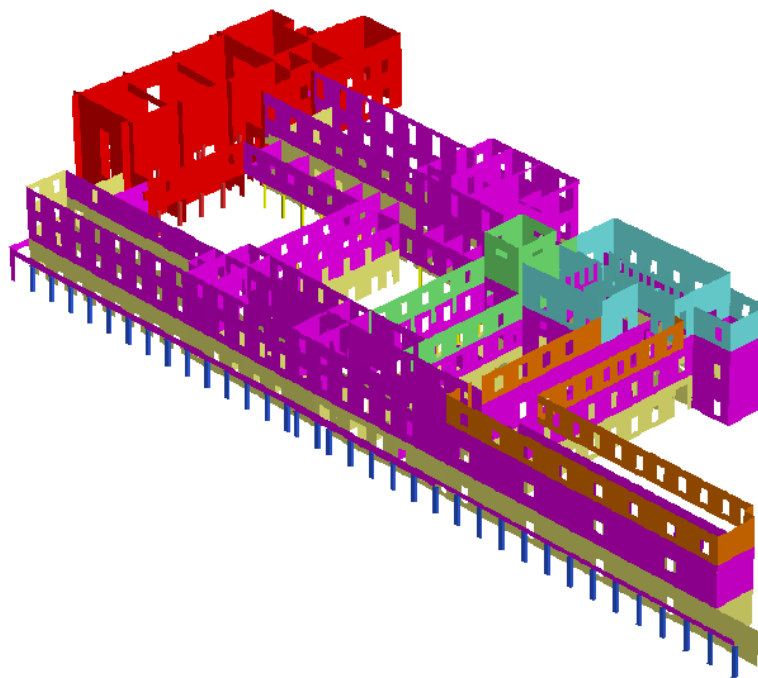


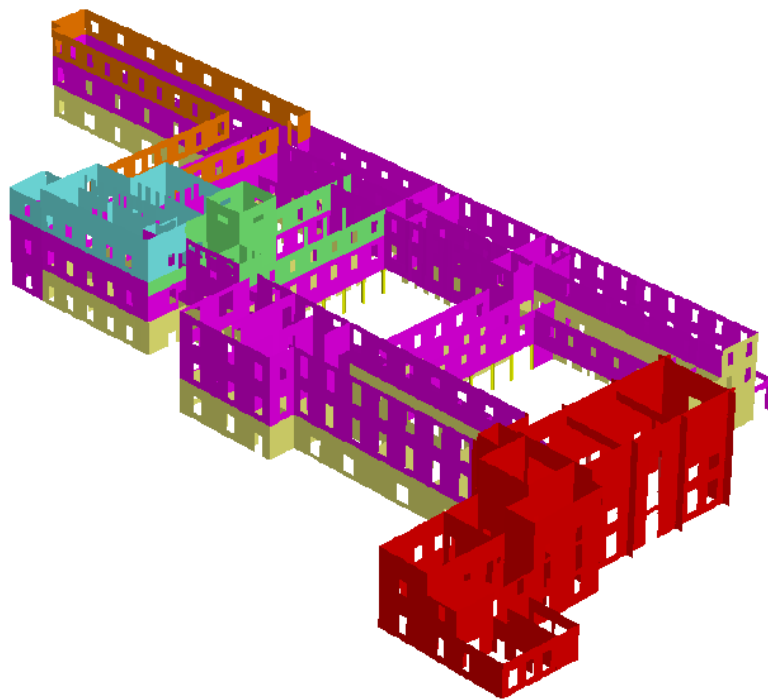
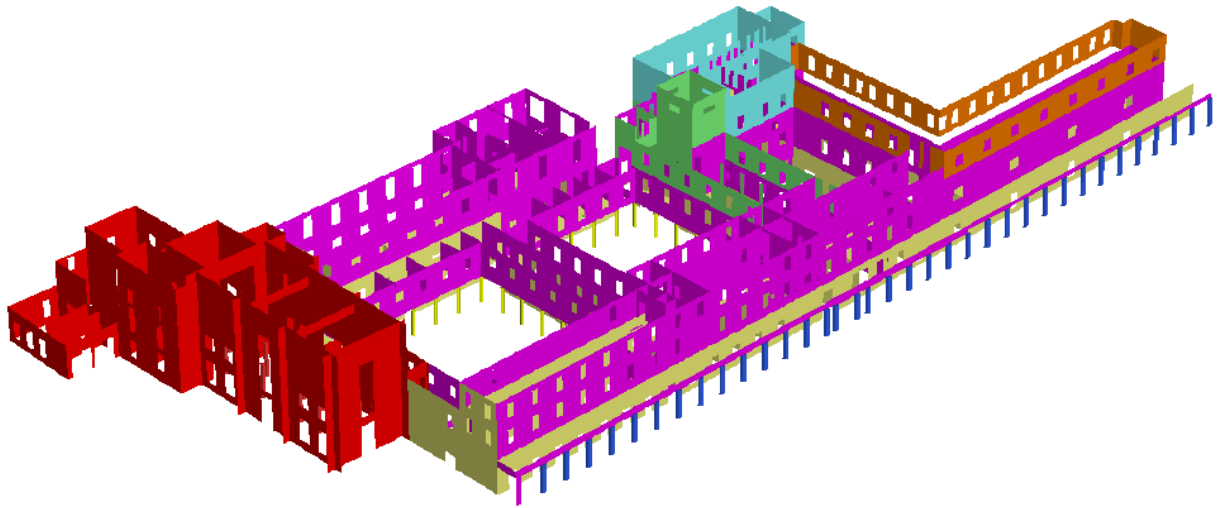


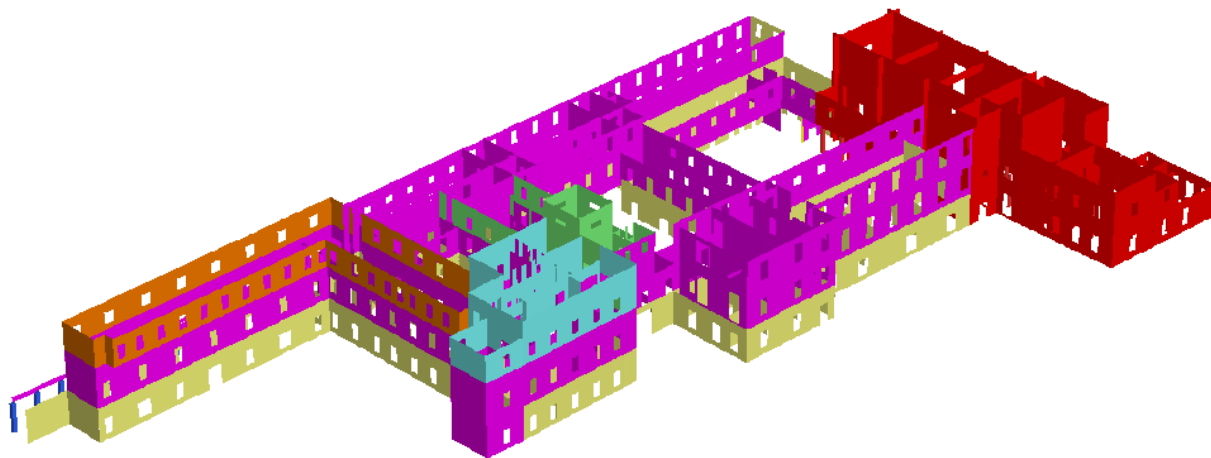
### 3. MODELLO MECCANICO

Le caratteristiche dei materiali strutturali (con le approssimazioni di questa fase di progettazione preliminare) sono descritte negli elaborati grafici della serie e nella *“relazione tecnica”* al capitolo *“3 - caratterizzazione preliminare del sistema murario”*.

Nelle immagini che seguono si riportano, per comodità di lettura, alcune viste assonometriche del modello, da diverse angolazioni, con colorazioni degli elementi “plate” differenziate per tipologia di materiale.







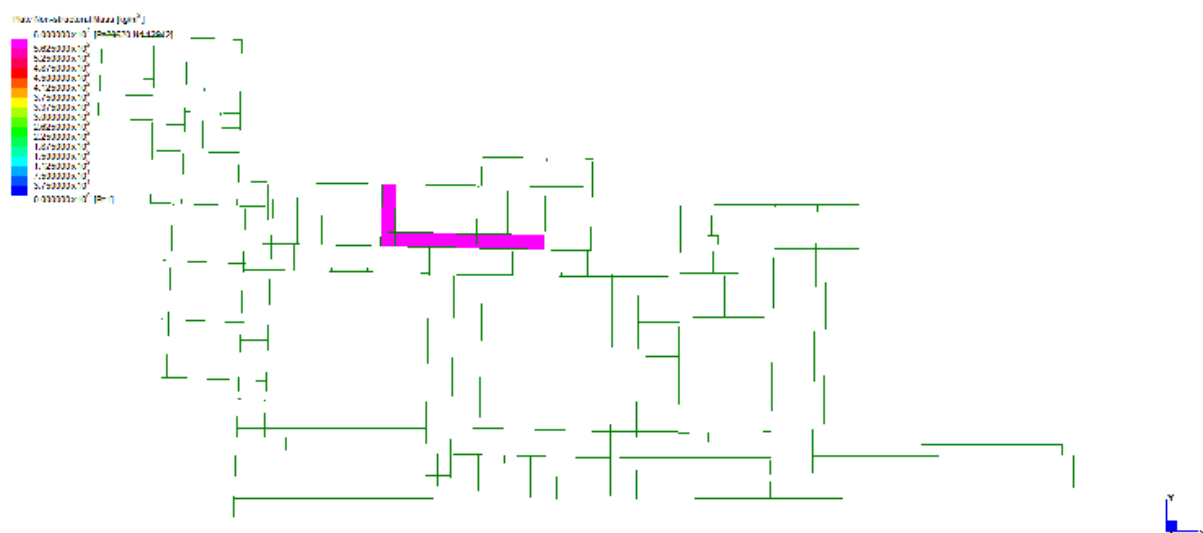
#### 4. MODELLO DEI CARICHI

Le azioni applicate sono quelle gravitazionali (cfr. “premessa”). I pesi degli elementi strutturali (murature e colonne) sono determinati ed applicati dal programma di calcolo sulla base delle dimensioni e dei pesi specifici delle membrature modellate. I pesi trasmessi dagli orizzontamenti sono applicati, come detto, tramite elementi “load patch”. Nei limiti delle approssimazioni del modello (e della conoscenza degli orizzontamenti), si è ritenuto appropriato considerare “load patch” del tipo bi-direzionale, che trasmettono le azioni del solaio con modalità “a padiglione” (individuato dalle bisettrici degli angoli al vertice in ciascun vano modellato).

L’entità dei carichi considerati su ciascuna porzione di impalcato (anche questa determinata in modo indipendente rispetto al modello DICAM, sulla base di quanto rilevato in situ, seppur in via approssimata/preliminare) è riportata nelle immagini che seguono nella forma di “massa non strutturale” [unità di misura nel SI, in  $\text{kg}_{\text{massa}}/\text{m}^2$ ] e comprende la massa unitaria presunta dell’impalcato strutturale (“peso solai”) e quella “permanente portata” (controsoffitti, pavimenti, altri eventuali). Si rappresentano 13 livelli a motivo dei dislivelli tra impalcati e presenza di ammezzati.

Le immagini non contemplano i carichi variabili, essendo per questi considerato, in via approssimata, un valore costante ed uniforme di  $300 \text{ kg}_{\text{massa}}/\text{m}^2$  su tutti gli impalcati di piano intermedio (uffici) e di  $120 \text{ kg}_{\text{massa}}/\text{m}^2$  sull’impalcato di copertura (neve).

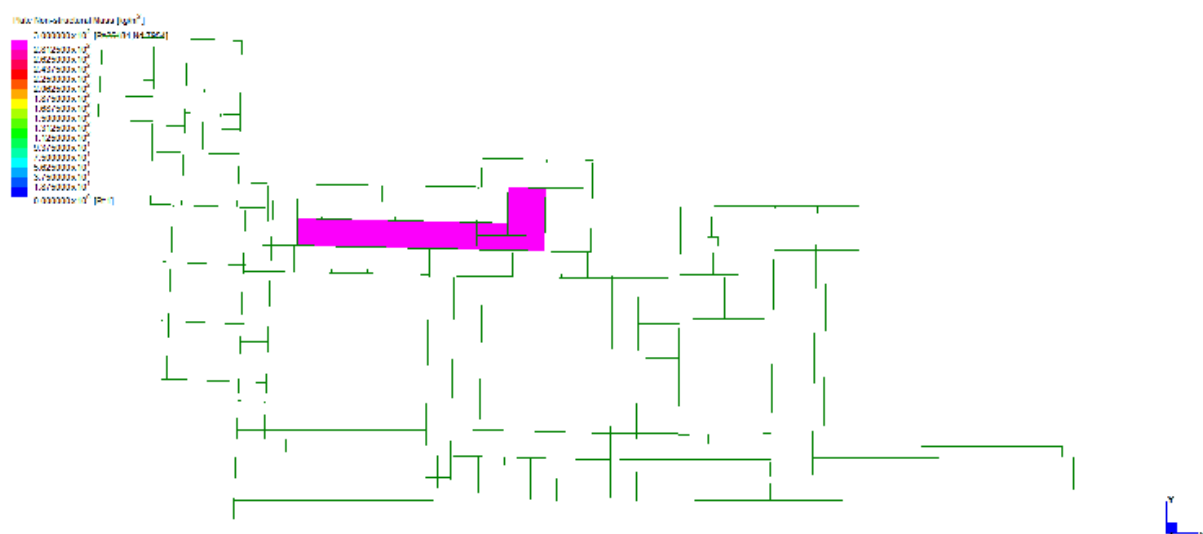
Anche le eccentricità, con cui gli impalcati trasmettono le azioni alle murature, sono state ipotizzate in via approssimata, nella sostanziale impossibilità di ottenere informazioni attendibili in questa fase.



Peso solai - solaio quota +2.26

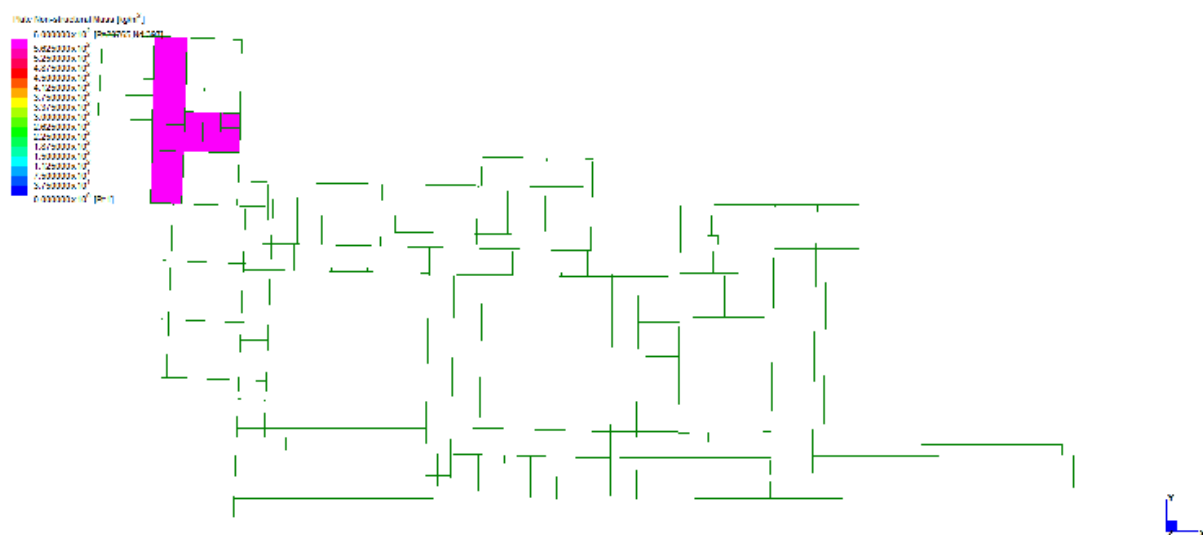


Peso solai - solaio quota +4.99

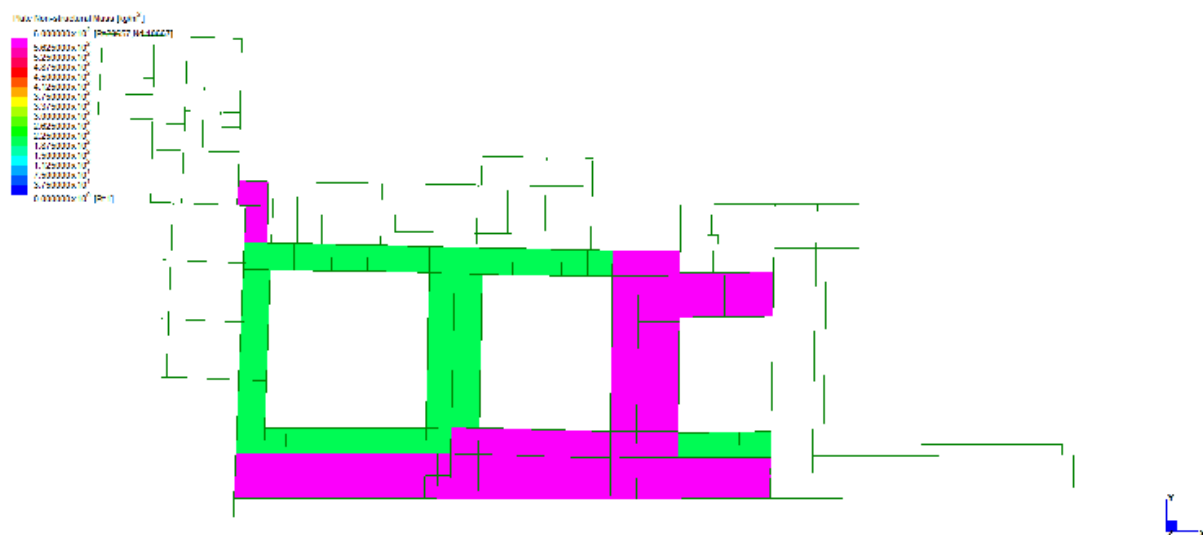


Peso solai - solaio quota +8.06

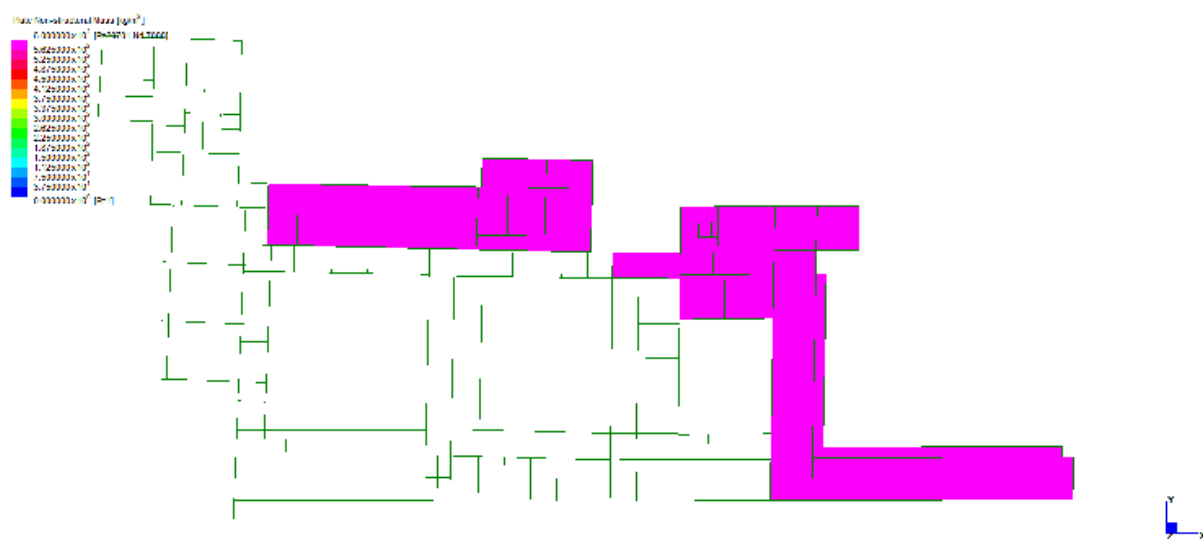




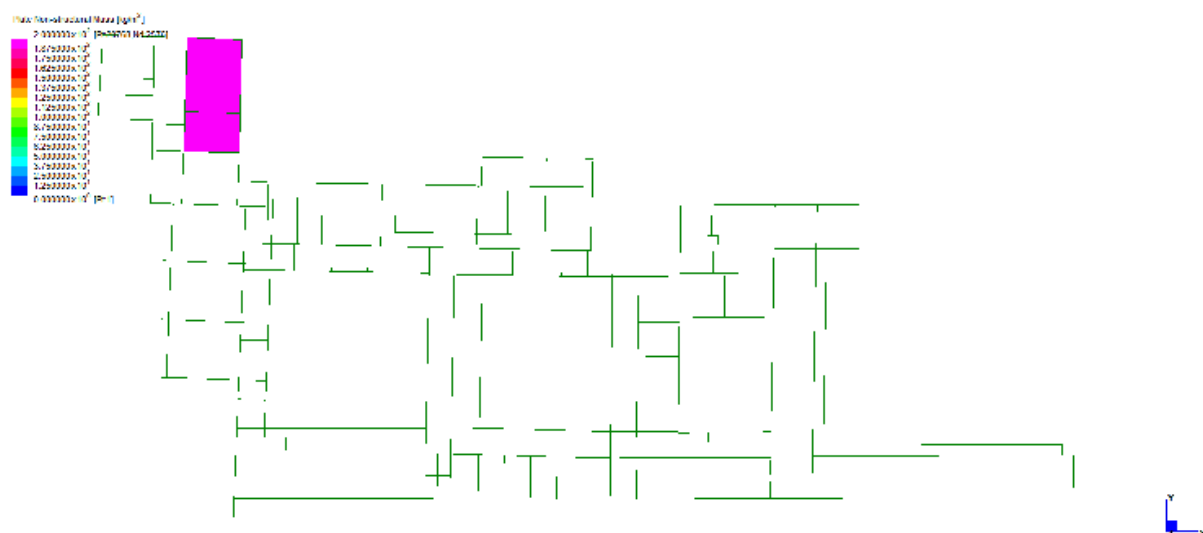
*Peso solai - solaio quota +8.47*



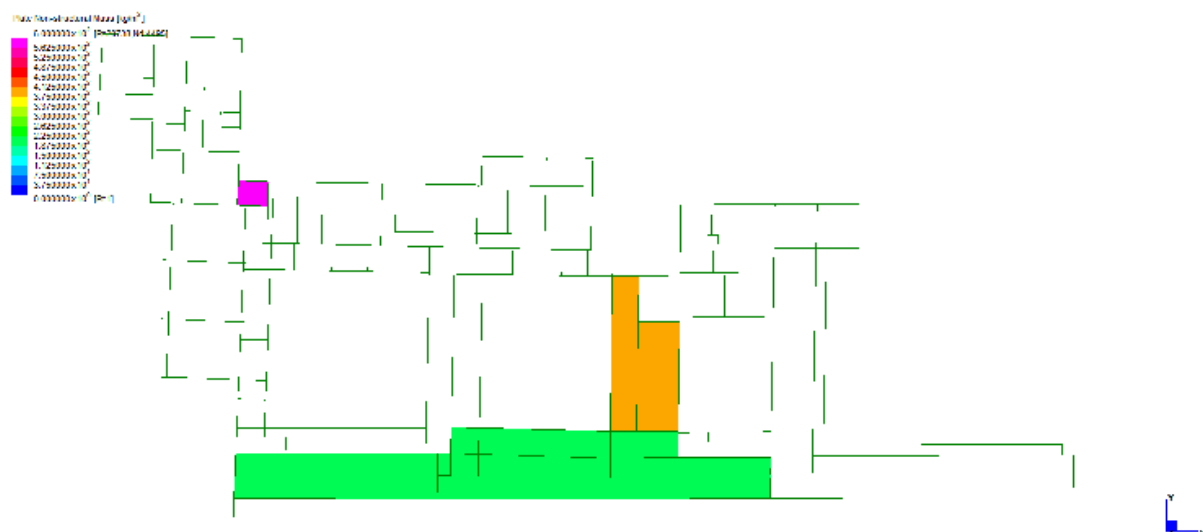
*Peso solai - solaio quota +8.97*



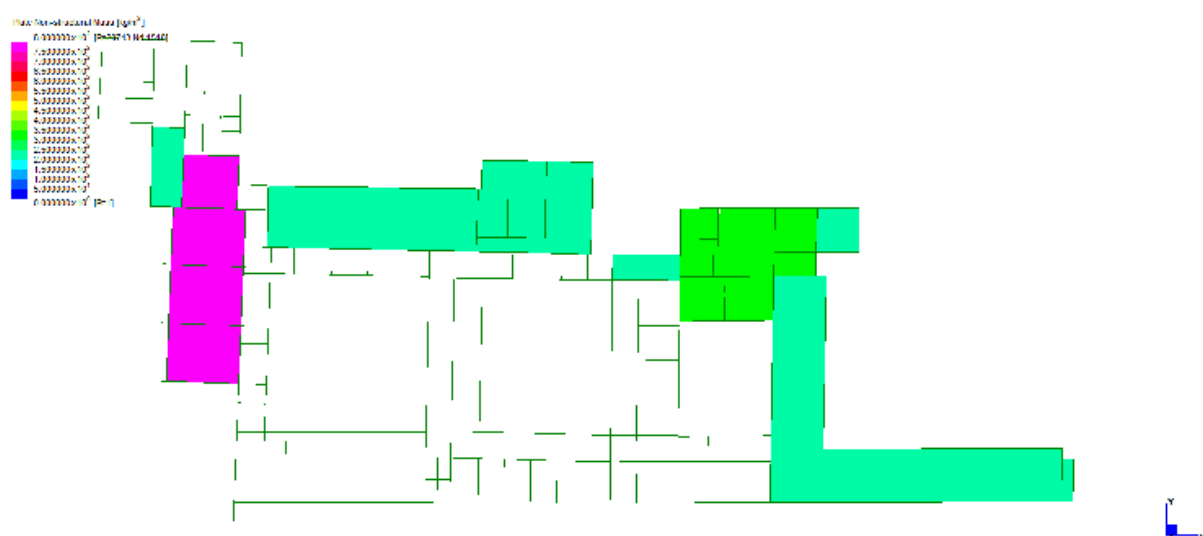
*Peso solai - solaio quota +10.975*



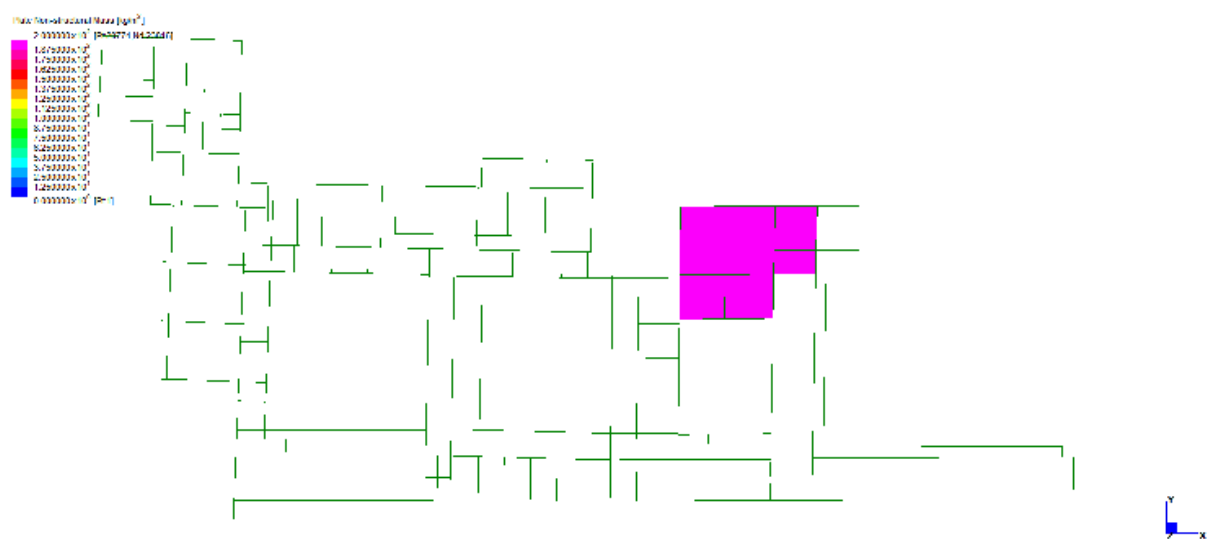
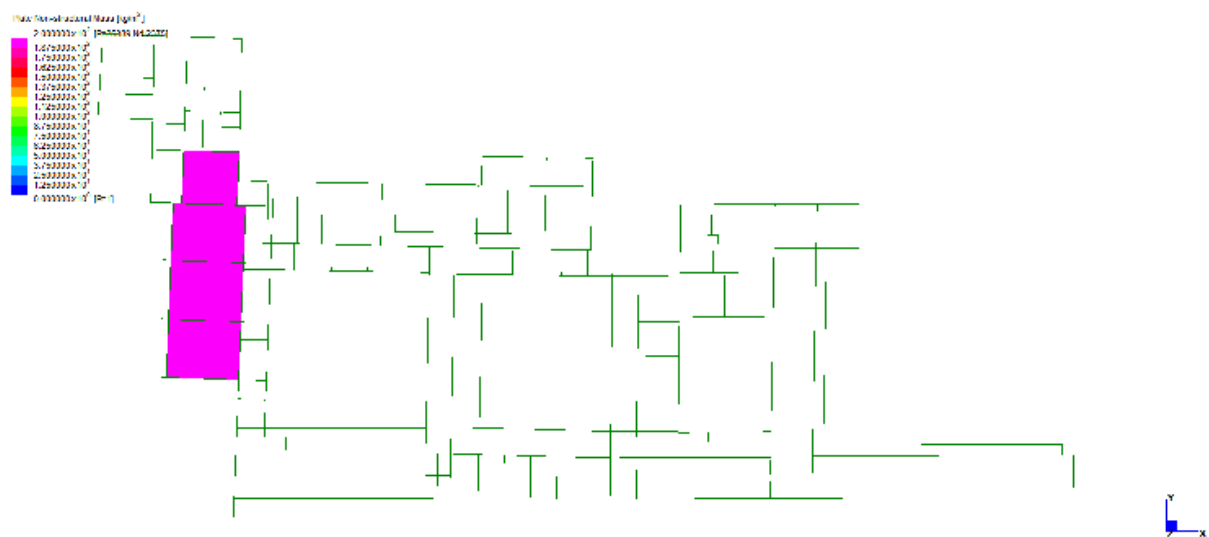
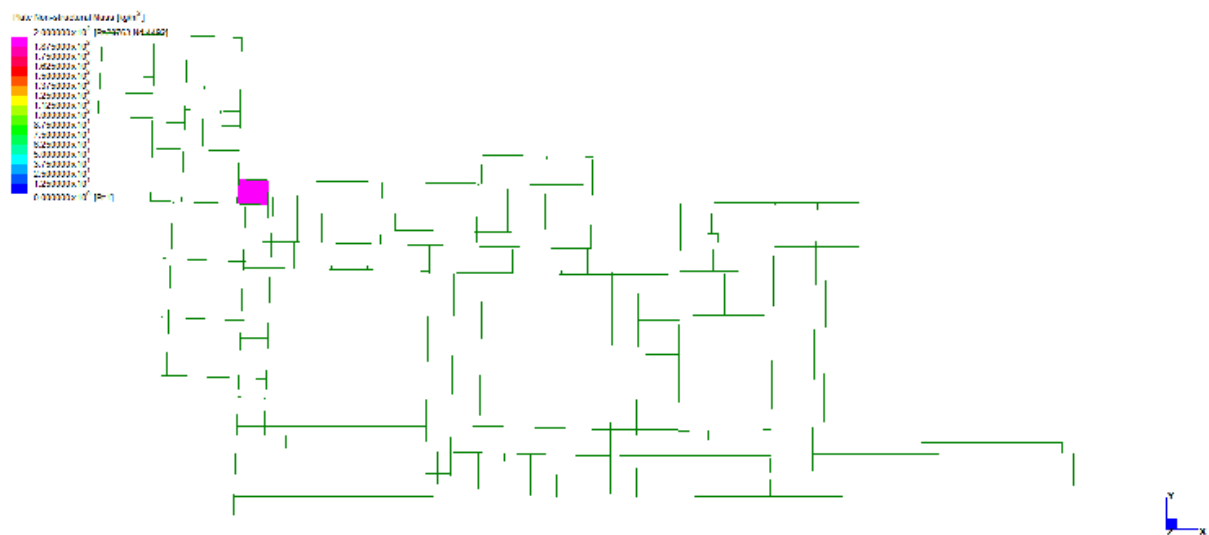
Peso solai - solaio quota +11.52

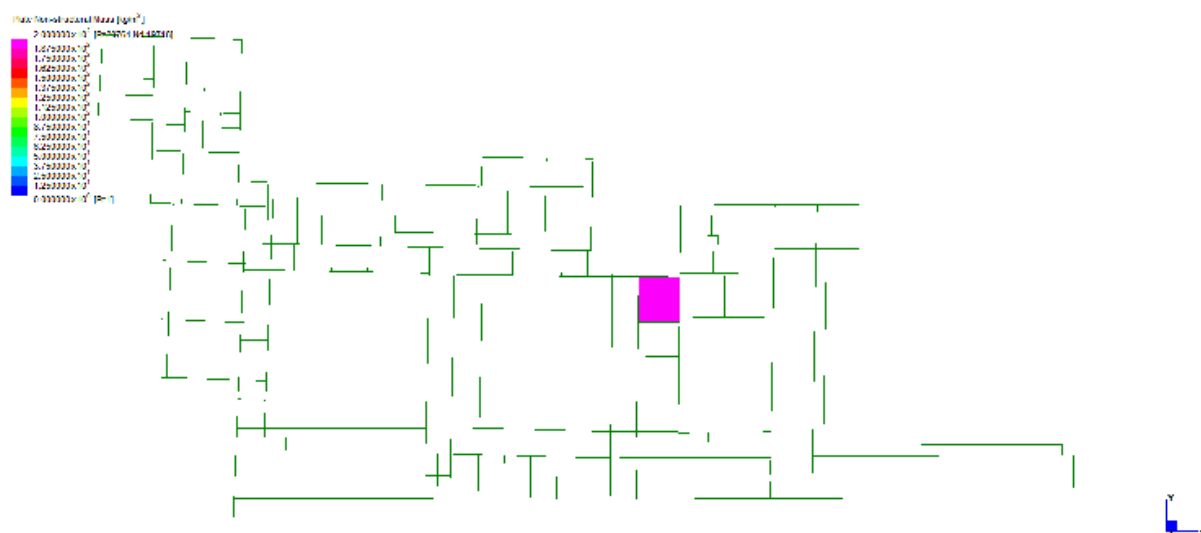


Peso solai - solaio quota +12.97

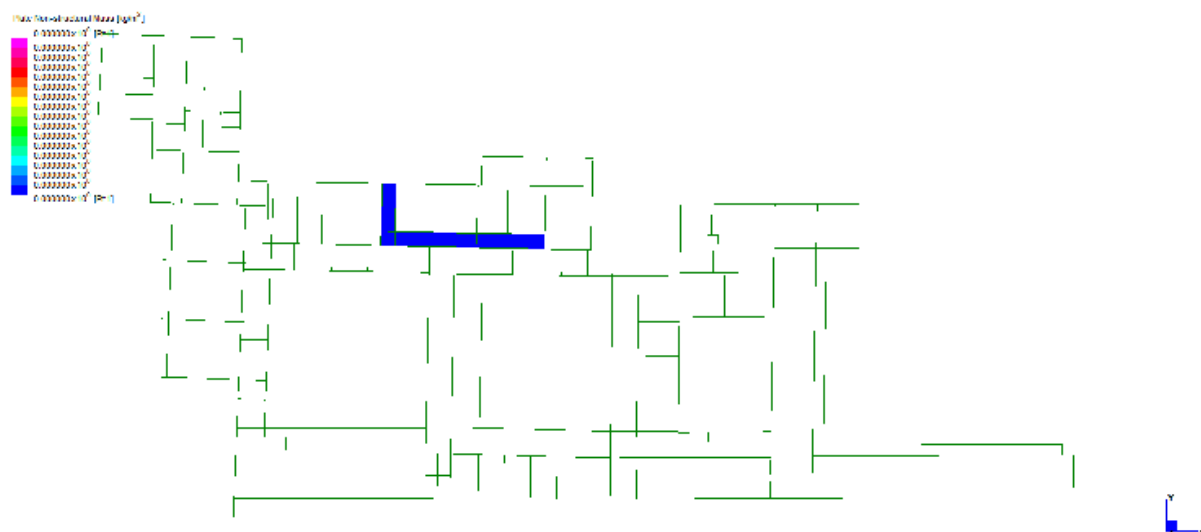


Peso solai - solaio quota +15.06

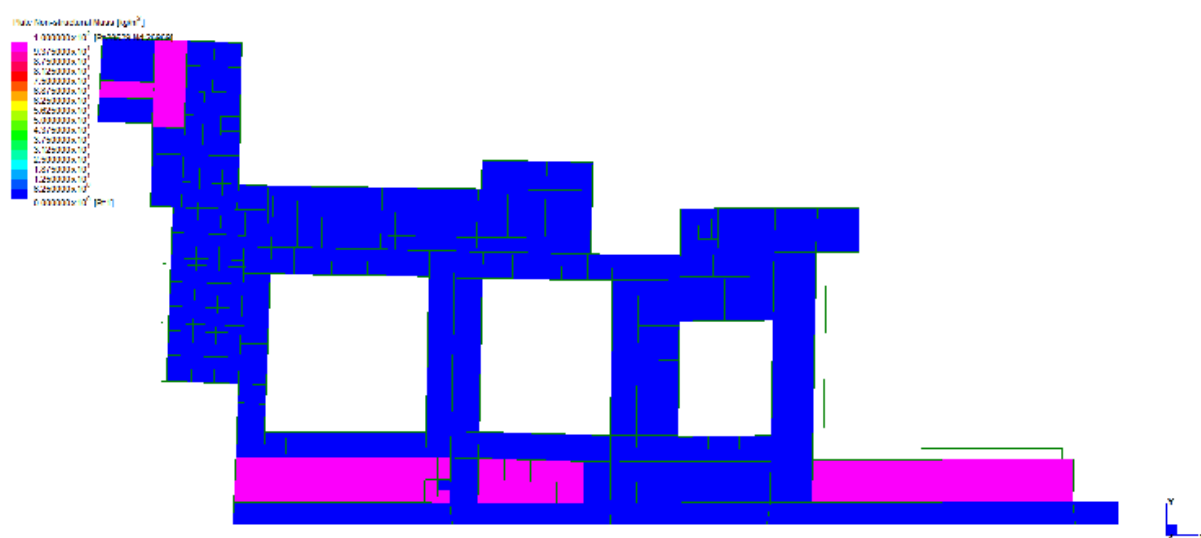




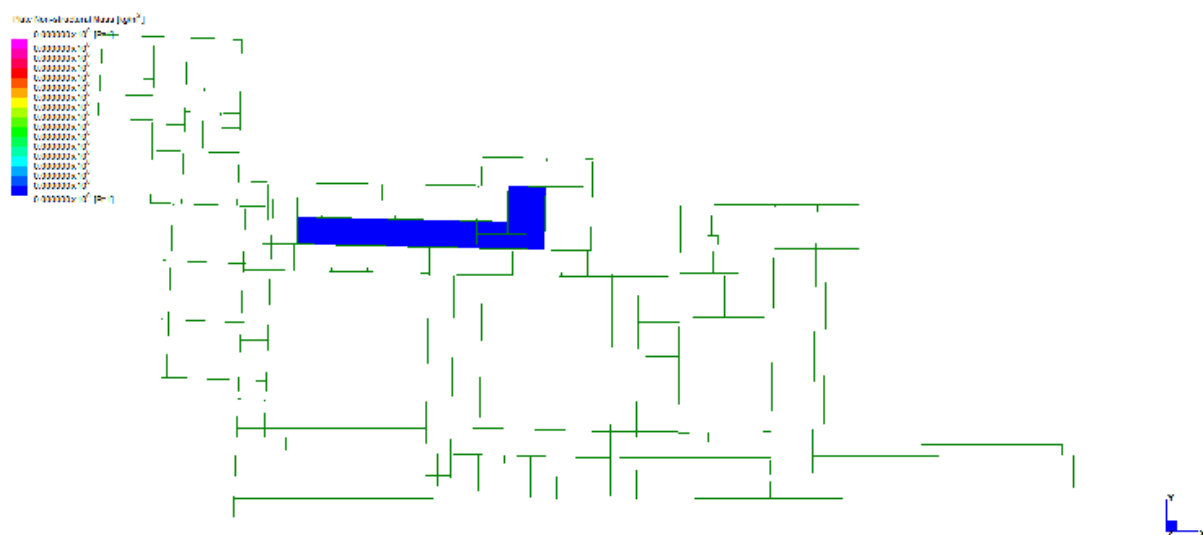
*Peso solai - solaio quota +19.60*



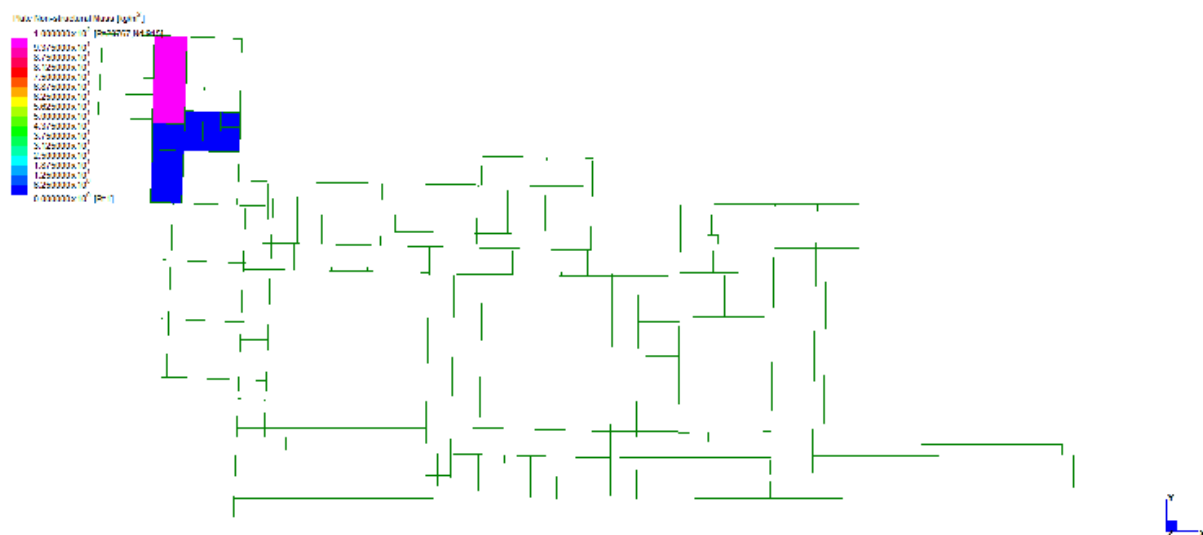
*Permanenti portati - solaio quota +2.26*



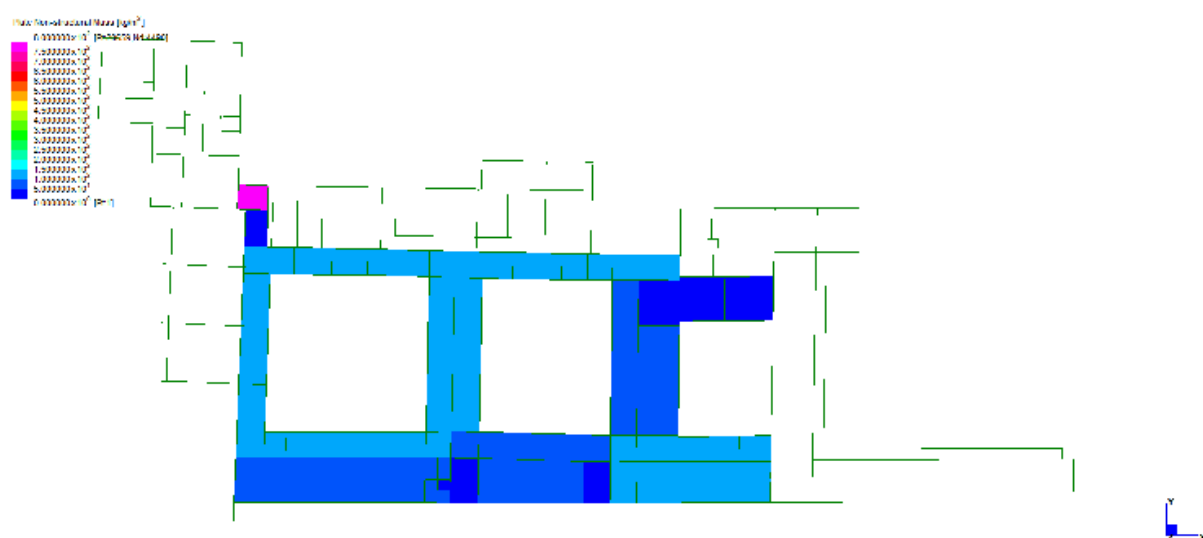
*Permanenti portati - solaio quota +4.99*



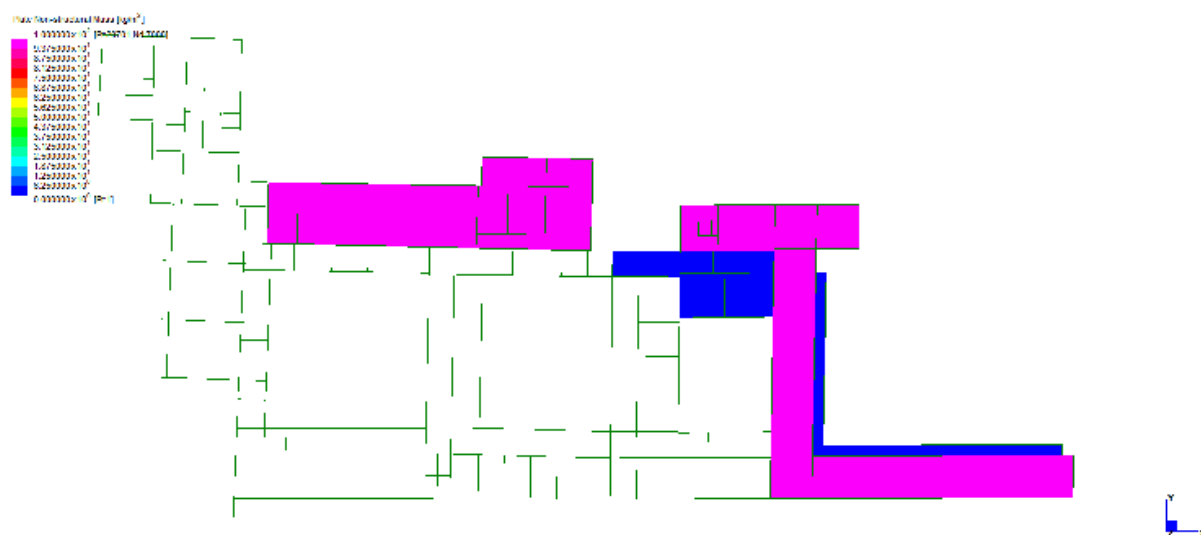
*Permanenti portati - solaio quota +8.06*



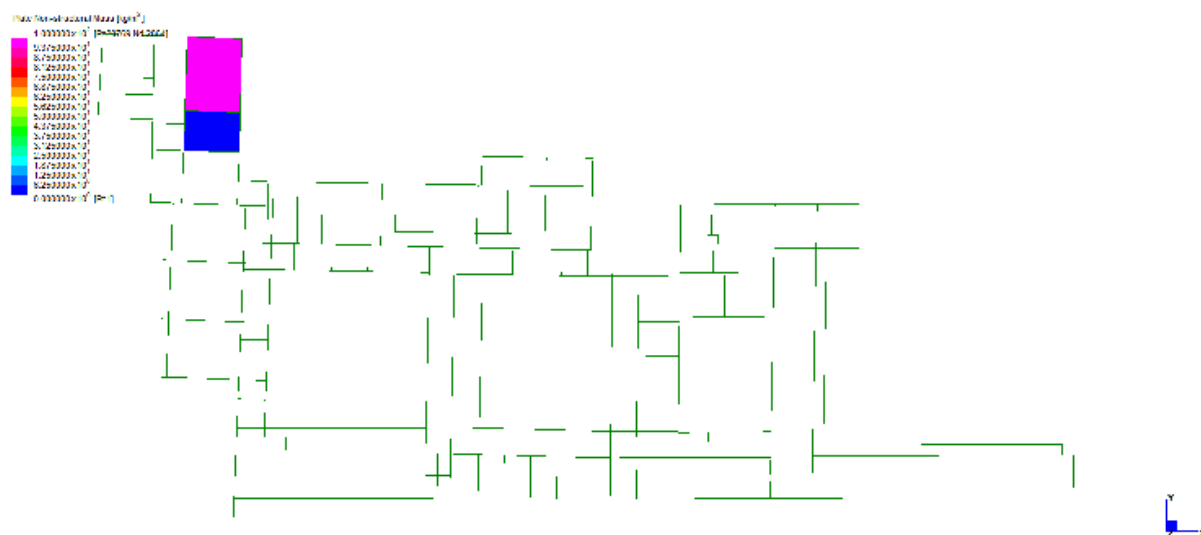
*Permanenti portati - solaio quota +8.47*



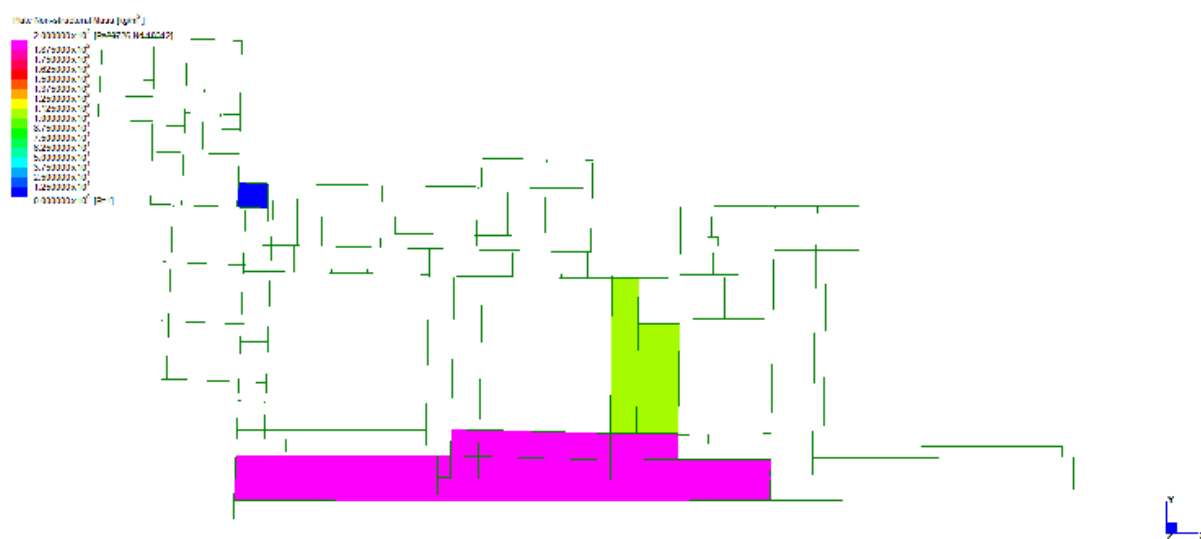
*Permanenti portati - solaio quota +8.97*



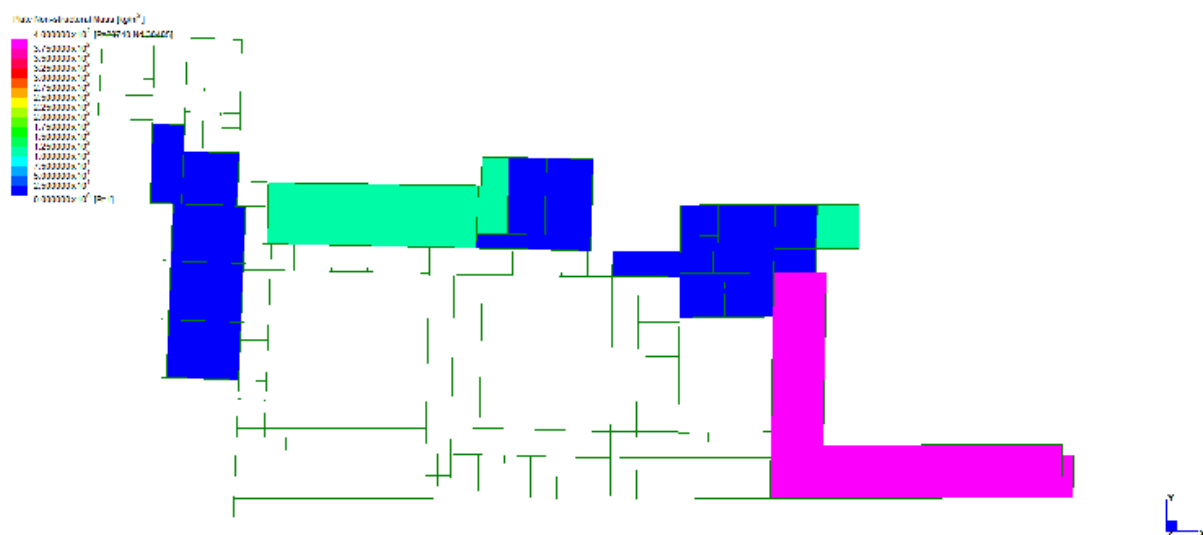
*Permanenti portati - solaio quota +10.975*



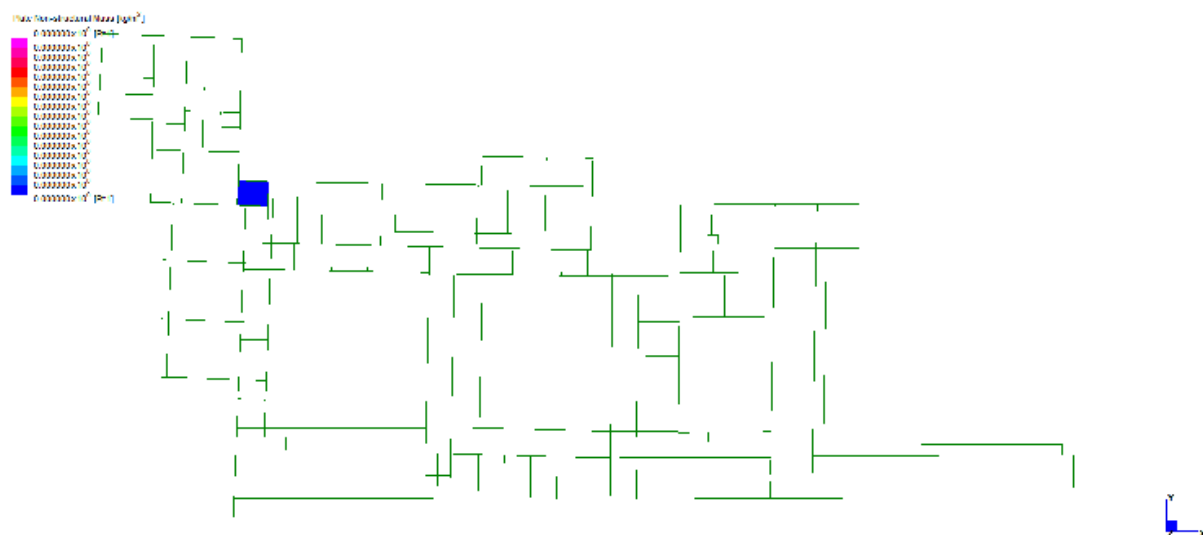
*Permanenti portati - solaio quota +11.52*



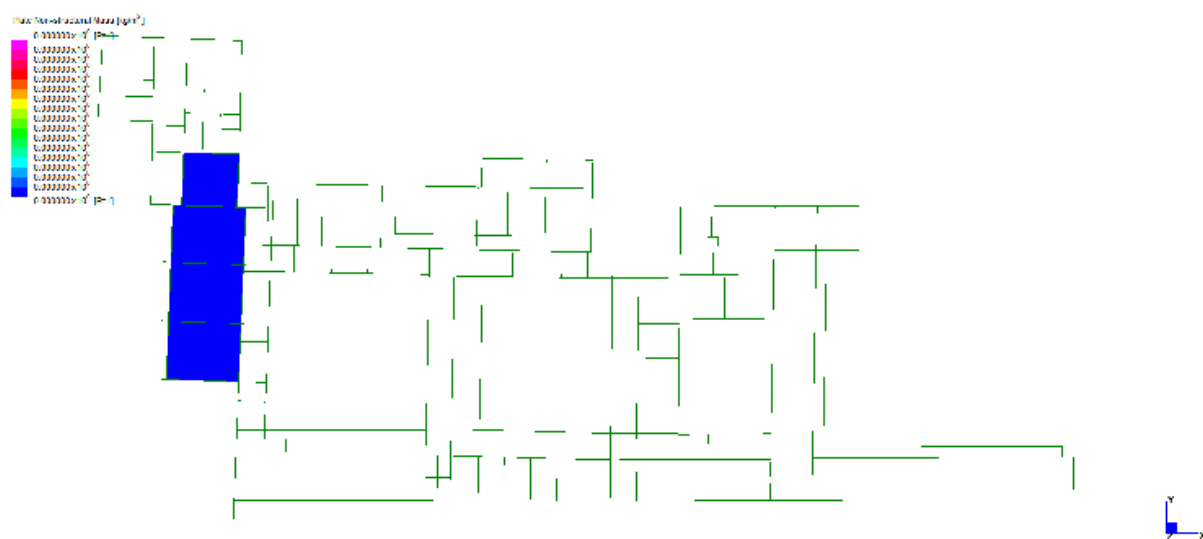
*Permanenti portati - solaio quota +12.97*



*Permanenti portati - solaio quota +15.06*



*Permanenti portati - solaio quota +16.19*



*Permanenti portati - solaio quota +16.50*





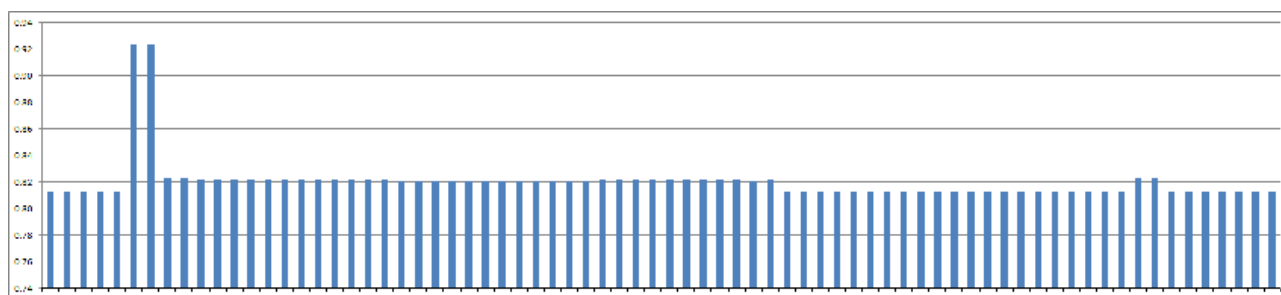
## 5. RISULTATI DI INTERESSE AI FINI DEL PROGETTO DI FATTIBILITA'

Dal modello sopra descritto, previa analisi elastico-lineare, ai fini del presente progetto, sono derivati gli sforzi normali nei maschi murari e nelle colonne.

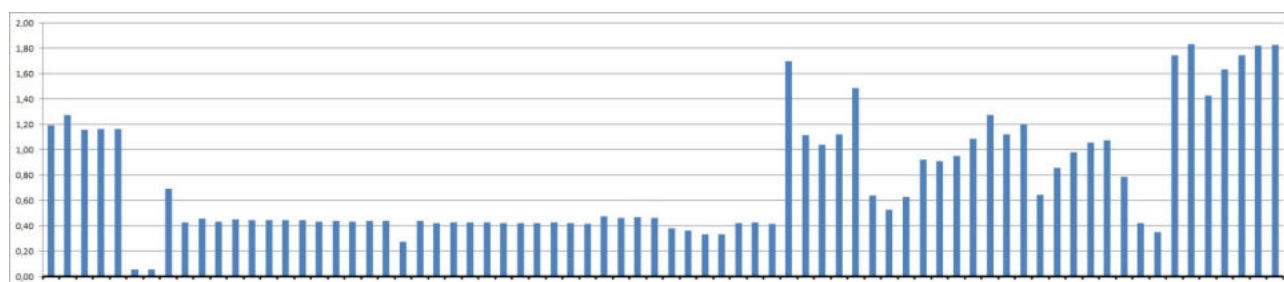
La verifica nei confronti delle azioni gravitazionali è condotta secondo il metodo dell'articolazione, adottando un coefficiente di sicurezza sui materiali pari a 2. Nello spirito di una analisi preliminare di massima e tenuto conto delle considerazioni già esposte in *"relazione tecnica"* in merito alla resistenza dei materiali assunta nei calcoli, il coefficiente di riduzione della capacità portante della muratura  $\phi$  è definito assegnando all'eccentricità dei carichi un valore convenzionale dipendente dalla posizione della parete (1/200 dell'altezza di interpiano per murature interne – ove l'eccentricità dei solai confluenti è sostanzialmente auto-compensata – ed 1/100 della medesima altezza per le murature esterne). L'altezza libera della parete è convenzionalmente ridotta rispetto a quella di interpiano per considerare lo spessore dell'orizzontamento ed il contributo dei vincoli laterali.

Negli istogrammi che seguono si riportano i valori del coefficiente di riduzione della capacità portante della muratura ( $\phi$ ) e del rapporto tra azione di calcolo ed azione resistente ( $N_d/N_R$  – con  $N_d$  valutato nella combinazione SLU statica), per le colonne e per i maschi murari.

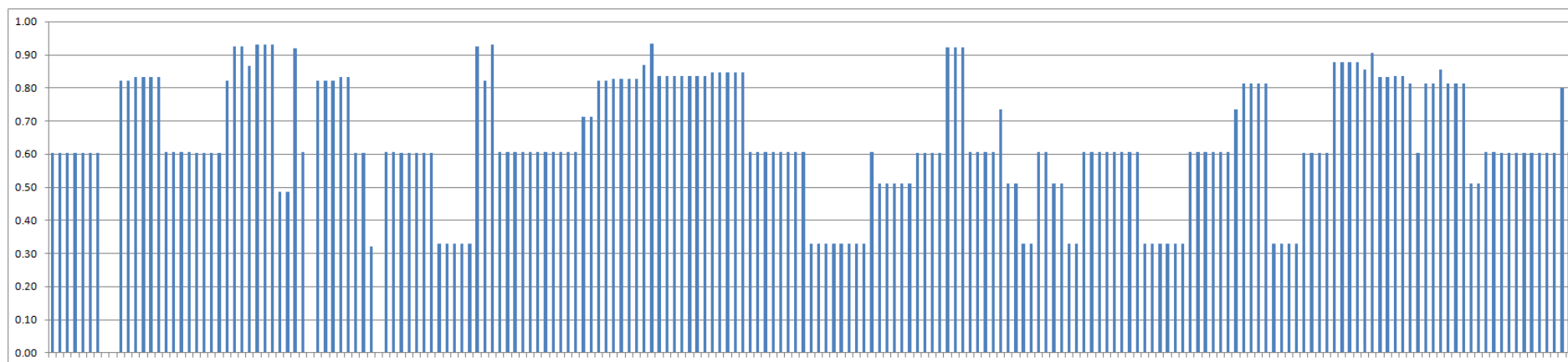
Considerata la finalità *"statistica"* (nel senso sopra motivato) dell'analisi, si omette la localizzazione dei singoli elementi; si rimanda alla *"relazione tecnica"*, ed in particolare al capitolo *"5 - indicazione preliminare degli interventi previsti"*, per la descrizione delle modalità con cui i risultati qui esposti sono stati tenuti in considerazione nella definizione degli interventi e nella quantificazione degli elementi interessati dai rinforzi.



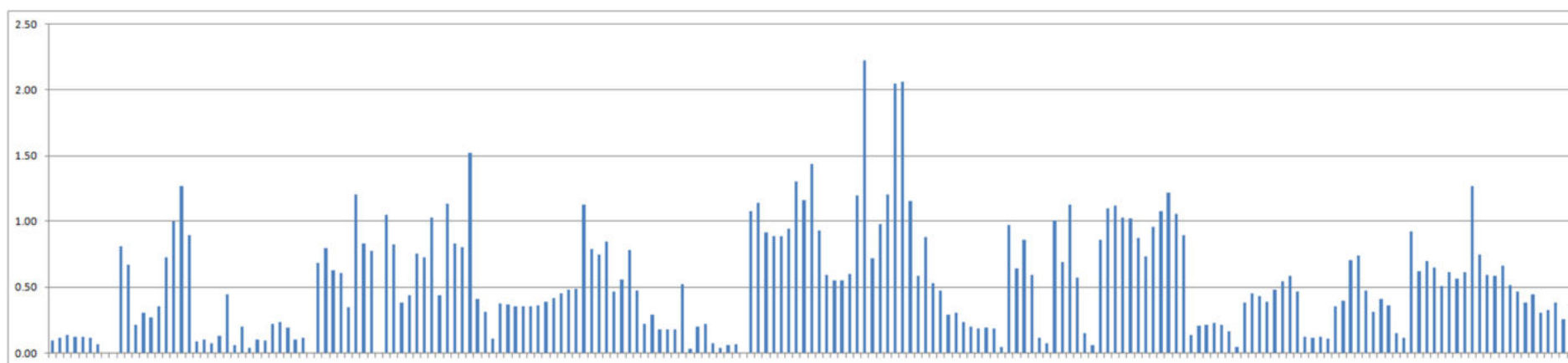
Valore del coefficiente  $\phi$  per le colonne



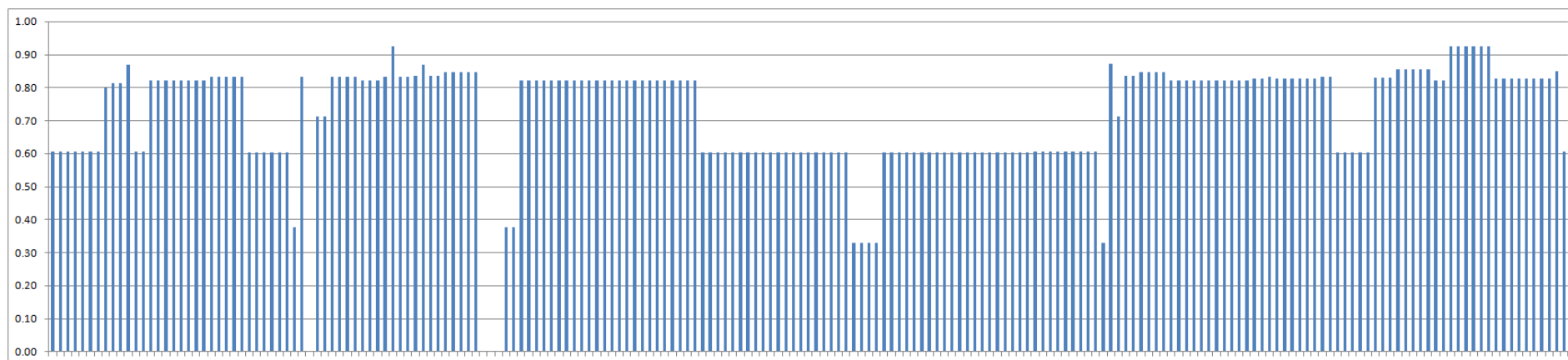
Valore di  $N_d/N_R$  per le colonne



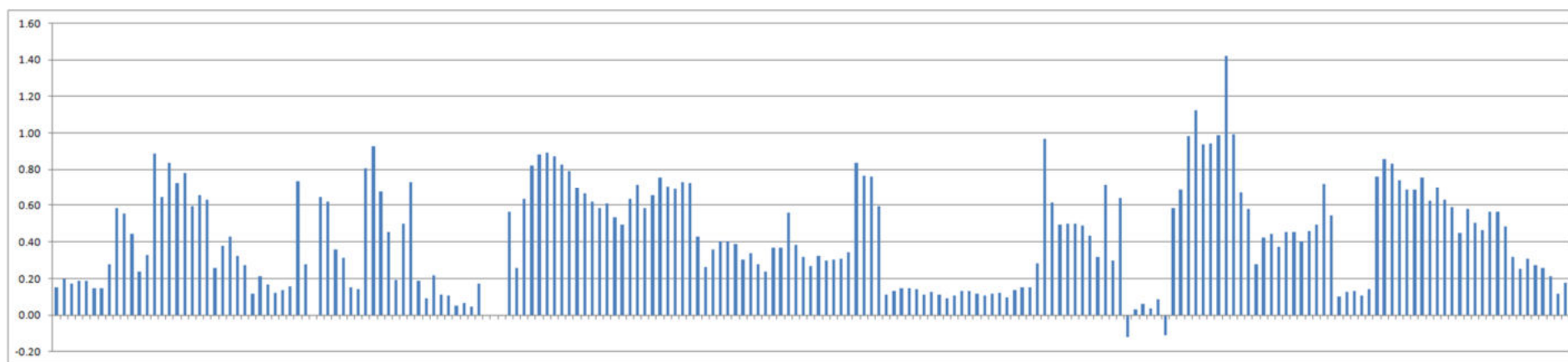
*Valore del coefficiente  $\phi$  per i maschi murari (elementi 1-201)*



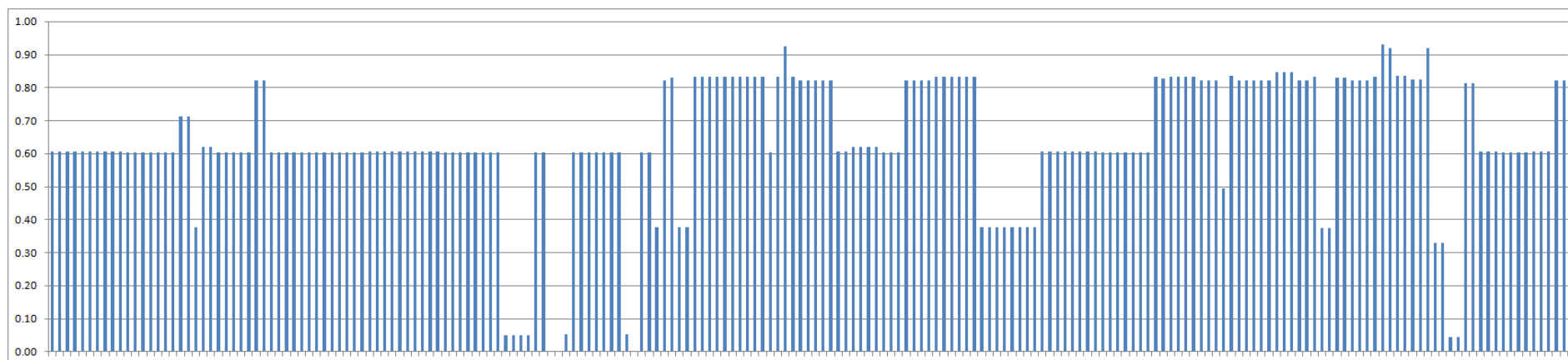
*Valore di  $N_d/N_R$  per i maschi murari (elementi 1-201)*



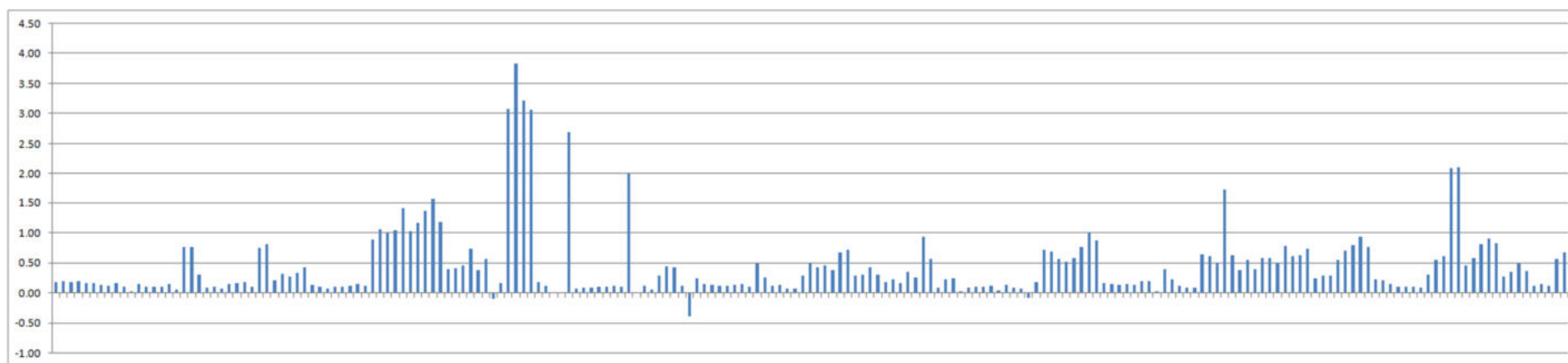
*Valore del coefficiente  $\phi$  per i maschi murari (elementi 202-402)*



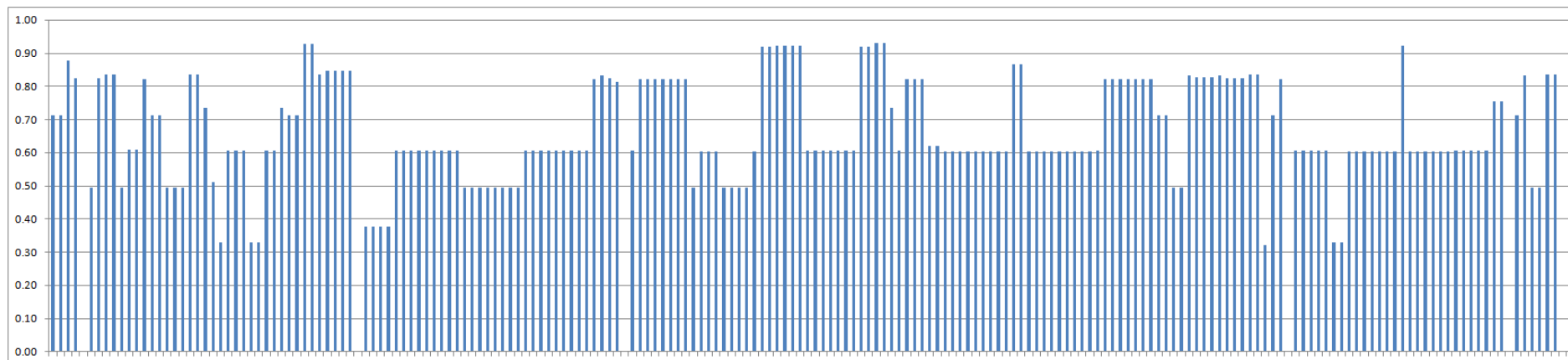
*Valore di  $N_d/N_R$  per i maschi murari (elementi 202-402)*



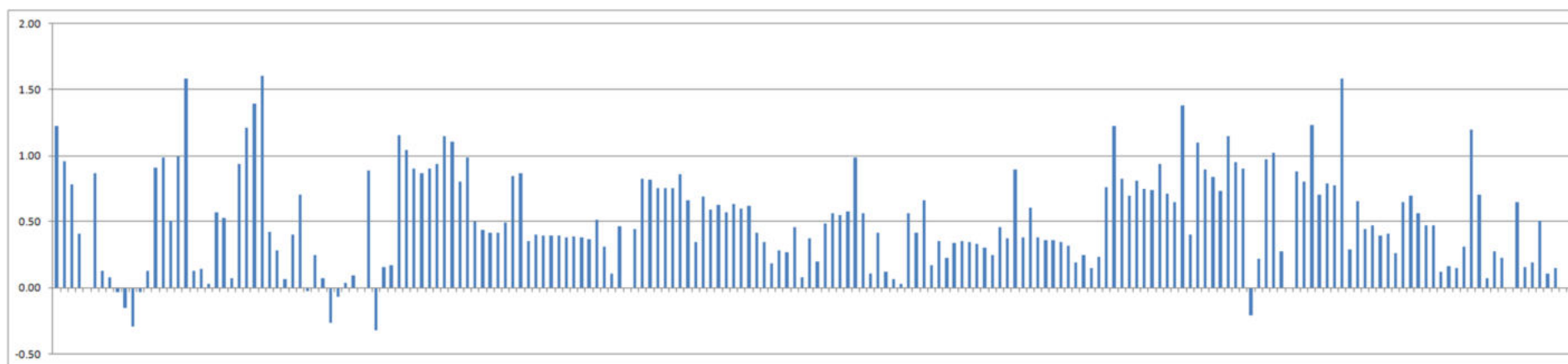
*Valore del coefficiente  $\phi$  per i maschi murari (elementi 403-603)*



*Valore di  $N_d/N_R$  per i maschi murari (elementi 403-603)*



*Valore del coefficiente  $\phi$  per i maschi murari (elementi 604-803)*



*Valore di  $N_d/N_R$  per i maschi murari (elementi 604-803)*